И. А. СКАБАЛЛАНОВИЧ, М. В. СЕДЕНКО

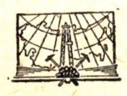
ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И. А. СКАБАЛЛАНОВИЧ, М. В. СЕДЕНКО

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для учащихся горных техникумов



МОСКВА «НЕДРА» 1980

УДК 556.3+624.131.1 (075.8)

Скабалланович И. А., Седенко М. В. Гидрогеология инженерная геология и осушение месторождений: Учебник для техникумов. 4-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1980.—205 с.

Изложены основные сведения о подземных водах, условиях их формирования, залегания, распространения и движения, влияние подземных вод на разработку полезных ископаемых и способы борьбы с водопритоками в горные выработки. Приведены основы инженерной геологии — общие сведения о грунтах, их физикомеханических свойствах; рассмотрены оползневые и плывунные явления и методы борьбы с ними, даны элементарные расчеты устойчивости откосов. В четвертом издании (3-е изд. — 1973) учебника с учетом новой программы приведены основные положения об охране природных вод.

Для учащихся горных техникумов по специальностям «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых», а также «Разработка месторождений подземным способом», «Строительство горных предприятий» и «Маркшейдерское дело».

Табл. 15, ил. 59, список лит.—25 назв.

Рецензент: д-р геол.-минер. наук И. В. ГАРМОНОВ

С $\frac{20806-184}{043(01)-80}$ 10—80.1904060000

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие народного хозяйства нашей страны требует добычи из недр земли разнообразных видов минерального сырья. Природные гидрогеологические и инженерно-геологические условия залегания месторождений полезных ископаемых бывают самыми различными, нередко весьма сложными, что затрудняет ведение горных работ. Поэтому необходимо осуществлять профилактические мероприятия по борьбе с притоками подземных вод в горные выработки и устранять отрицательное воздействие неблагоприятных инженерно-геологических условий на ведение горных работ.

С каждым годом в горнорудной промышленности все большее значение приобретает открытый способ добычи полезного ископаемого. Так, за годы девятой пятилетки в СССР доля открытой добычи руды возросла с 79 до 82%, и угля — с 26 до 31%. В десятой и последующих пятилетках удельный вес открытого способа добычи полезного ископаемого увеличится. В соответствии с решениями XXV съезда КПСС добыча угля в 1980 г. достигнет 790—810 млн. т, причем особенно развертываются работы по добыче угля открытым способом в восточных районах страны. Если глубина ряда современных карьеров измеряется двумя-тремя сотнями метров, то в обозримом будущем некоторые из них достигнут глубины 500—700 м и более.

Современный уровень развития науки и техники позволяет вести разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом с весьма сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями и на различных глубинах. Выбор осушительных мероприятий, конструкции противофильтрационных и противодеформационных сооружений, их эффективность, а следовательно, и рентабельность горнодобывающих предприятий всецело зависят от геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей залегания конкретных месторождений.

Горные техники, непосредственно осуществляющие строительство на карьерах дренажных сооружений, а затем их эксплуатацию, должны знать основы гидрогеологии, особенно тех

ее разделов, в которых излагаются технические способы борьбы с притоками подземных вод. Им необходимо также знание основ инженерной геологии, чтобы обеспечить технически грамотное строительство и затем повседневный технический надзор за исправным состоянием различных противодеформационных сооружений, предотвращающих оползание и обрушение бортов карьеров и другие деформации в горных выработках.

Изложению основ гидрогеологии, инженерной геологии и осушения месторождений в объеме действующей программы и посвящен учебник, предназначенный для студентов горных техникумов по специальности «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых».

При подготовке четвертого издания ряд глав подвергся переработке в соответствии с программой, утвержденной в 1975 г., и новейшими достижениями по осушению месторождений. Введение, главы 1—6, 9—11 написаны И. А. Скабаллановичем, главы 7 и 8 — М. В. Седенко.

ВВЕДЕНИЕ

Гидрогеология — наука о подземных водах, т. е. водах, находящихся ниже поверхности земли в капельно-жидком, парообразном и твердом виде, приуроченных к различным горным породам. Она изучает происхождение и развитие подземных вод, условия их залегания и распространения, законы движения, взаимодействие с вмещающими горными породами, физические и химические свойства, их газовый состав и агрессивность.

В жизни людей подземные воды играют важную роль. По выражению академика А. П. Карпинского, подземные воды являются наиболее драгоценным ископаемым. Издавна они используются человеком для питьевого и хозяйственно-технического водоснабжения. Широко применяются подземные воды для лечебных целей, добычи брома, иода, других редких компонентов. Высокотемпературные воды применяются для отопления, выработки электроэнергии, выращивания овощей и фруктов.

Вместе с тем во многих отраслях народного хозяйства подземные воды играют отрицательную роль. При строительстве гидротехнических сооружений, туннелей, метрополитенов и т. п. подземные воды значительно осложняют ведение работ, обусловливая необходимость применения дренажных и гидроизоляционных мероприятий, нередко очень сложных, что значительно усложняет и удорожает строительство.

В горнодобывающей промышленности подземные воды в большинстве случаев играют отрицательную роль. Для борьбы с ними на карьерах, в шахтах и рудниках применяют различные дренажные сооружения и водоотливные установки. Капиталовложения на дренаж и эксплуатационные расходы на водоотлив часто достигают 20—30% и более от стоимости всех расходов по добыче полезного ископаемого.

Обводненность горных предприятий бывает различной; притоки подземных вод в горные выработки колеблются от нескольких до многих тысяч кубометров в час. Например, из карьеров Соколовско-Сарбайского горно-обогатительного комбината откачивается воды свыше 2000 м³/ч. Особой обводненностью отличаются месторождения полезных ископаемых, залегающие среди закарстованных пород. Например, притоки в бокситовые рудники на Урале нередко составляют 5000—9000 м³/ч, иногда 12 000 м³/ч. При строительстве Михайловского и Лебединского рудников глубиной более 100 м по добыче железных руд открытым способом в районе КМА откачивалось около 5000 м³/ч воды, что и привело к снижению уровня подземных вод и производительности водозаборов во всем приле-

гающем районе. Из сказанного ясно, что при проектировании горных предприятий и ведении эксплуатационных работ для принятия наиболее целесообразных и рентабельных мер по борьбе с отрицательным действием подземных вод необходимы исчерпывающие сведения о гидрогеологических особенностях месторождения. Следовательно, значение гидрогеологии для горной промышленности велико.

Инженерная геология — наука, изучающая земную кору как возможную среду инженерной деятельности человека. Возводимые объекты вызывают соответствующие изменения природных геологических условий, а измененная природная обстановка в сочетании с естественной в свою очередь влияет на условия строительства и эксплуатацию карьеров, дорог, гидротехнических сооружений и других объектов. Отсюда следует, что теоретической и практической задачей инженерной геологии является прогнозирование геологических процессов, вызываемых хозяйственной деятельностью человека, и разработка мероприятий, обеспечивающих нормальную работу карьеров и других горнодобывающих предприятий, а также устойчивость и нормальную эксплуатацию различных сооружений, возводимых в неблагоприятных геологических условиях.

По утверждению основоположника инженерной геологии как науки академика Ф. П. Саваренского, для возведения инженерного сооружения опасны не столько неблагоприятные природные условия, сколько недостаточное знание инженерно-геологических условий и неумение оценить их с точки зрения того или иного инженерного мероприятия, применяемого для предотвращения ожидаемых деформаций.

В связи с мощным развитием в СССР горнодобывающей промышленности и необходимостью отработки месторождений, гидрогеологические и инженерно-геологические условия которых являются сложными и весьма сложными, возникла необходимость в специальном изучении гидрогеологических и инженерно-геологических особенностей обводненных месторождений в целях выработки наиболее рациональных мероприятий по борьбе с отрицательным воздействием подземных вод. Раздел гидрогеологии, изучающий рудничные, или шахтные, воды и соответственно инженерно-геологические условия, получил наименование *рудничной,* или *шахтной, гидрогеологии.* В СССР изданы многочисленные монографии и пособия по рудничной гидрогеологии, что свидетельствует о ее бурном газвитии в стране.

Совершенствование методов рудничной гидрогеологии и инженерной геологии позволит применять способы активной борьбы с подземными водами и неблагоприятными инженерно-геологическими явлениями, что при все большем внедрении средств механизации и автоматизации в горной промышленности является одной из основных предпосылок успешной работы современного горного предприятия.

РАЗДЕЛ I

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Глава 1

ФИЗИЧЕСКИЕ И ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ВИДЫ ВОДЫ В ПОРОДАХ

§ 1. Физические и водные свойства горных пород

В гидрогеологическом отношении горные породы подразделяются на водопроницаемые и водонепроницаемые, на рыхлые и скальные.

К рыхлым относятся раздельнозернистые породы, сложенные частицами, между которыми отсутствуют структурные связи (гравий, песок разной крупности), и глинистые породы с агрегатной структурой, когда отдельные мельчайшие частицы соединены вместе и образуют более крупные и сложные агрегаты, также связанные между собой.

К скальным относятся изверженные, метаморфические и сцементированные осадочные (известняки, песчаники, глинистые сланцы и т. п.) породы, имеющие между частицами жесткую связь кристаллизационного характера.

Физические и водные свойства рыхлых и скальных пород зависят от их литологического и химико-минералогического состава, пористости, трещиноватости и структуры. В значительной степени водные свойства обусловливаются их скважностью или пористостью.

Скважность и пористость. Горные породы по условиям происхождения и вследствие вторичных процессов (выветривание, растворение и выщелачивание, тектонические движения и др.) не являются абсолютно монолитными и содержат пустоты самых различных размеров и формы. В зависимости от вида и размера пустот различают: *скважность,* обусловленную крупными порами (более 1 мм), ноздреватостью, крупной трещиноватостью и закарстованностью; *пористость,* когда в горных породах имеются поры диаметром менее 1 мм, а трещины шириной менее 0,25 мм.

Скважность и пористость определяют гидрогеологические свойства горных пород по их площади и глубине. В горных породах, которым присуща скважность, подземная вода передвигается только под действием силы тяжести, а в породах пористых — под действием силы тяжести, поверхностного натяжения и других факторов.

В строительстве, горной промышленности и других отраслях пустоты в горных породах называются преимущественно пористостью. Определение пористости имеет существенное значение при решении ряда практических задач в строительстве, водоснабжении, горном деле и т. п.

Количественно пористость выражается отношением объема пустот ко всему объему породы:

$$n = \frac{V_п}{V} \cdot 100\%,$$

где n — пористость; $V_п$ — объем пустот в грунте; V — объем грунта.

В породах осадочного происхождения (гравий, песок, щебень и т. п.) величина пористости зависит от размера, формы и взаимного расположения частиц, слагающих породу.

Пористость гипотетической породы, состоящей из частиц шаровидной формы одинакового диаметра, в зависимости от их расположения, изменяется от 25,95 до 47,64%.

Водоотдача и водопроницаемость пород, обладающих различной пористостью, зависят не только от общей пористости и величины отдельных пор, но также и от расположения этих пор в породе и их взаимной связи. При неоднородном плохо отсортированном материале, из которого сложены рыхлые осадочные породы, пустоты между крупными частицами заполнены частицами более мелкими, что уменьшает объем пустот, а следовательно, и пористость.

Среди скальных пород наименьшую пористость имеют изверженные, у которых она обычно не превышает долей процента. Исключением является артикский туф Армении, пористость которого достигает 55—60%.

Пористость глинистых пород, несмотря на очень малую величину отдельных пор, в большинстве случаев превосходит пористость песков и нередко достигает 50—60% и более; поры в этих породах обычно имеют щелевидную форму. Пористость глинистых пород не постоянна и изменяется в зависимости от степени их увлажнения, а также под влиянием внешнего давления.

Под водными (гидрогеологическими) свойствами горных пород понимаются те, которые проявляются в них при взаимодействии с водой: водопроницаемость, капиллярные явления, влагоемкость, водоотдача, растворимость, набухание, усадка, пластичность и консистенция. Некоторые из этих свойств (набухание, усадка, пластичность и консистенция) одновременно характеризуют физико-механические свойства пород и поэтому рассмотрены ниже в разделе «Инженерная геология».

В о д о п р о н и ц а е м о с т ь — свойство пород пропускать под действием тяжести воду, что обусловливается их скважностью и пористостью. Однако не все породы способны пропускать че-

рез себя воду. Глинистые породы, пористость которых почти всегда превосходит пористость раздельнозернистых пород (песков и др.), практически не пропускают воду вследствие того, что поры в них очень мелкие и находящаяся в них физически связанная вода (см. ниже) не подвержена силам гравитации.

Водопроницаемыми являются пески, гравий, щебенка, известняки и другие породы, свободно пропускающие воду. Глинистые породы, в отличие от песков, являются водонепроницаемыми или водоупорными. Водоупорными бывают также монолитные невыветрелые скальные нетрещиноватые породы.

Водопроницаемость пород характеризуется *коэффициентом фильтрации k,* который представляет собой скорость движения воды в единицу времени при гидравлическом градиенте, равном единице; размерность его — м/с, м/сут. Примерные величины коэффициентов фильтрации различных осадочных пород приведены в табл.1.

Таблица 1

Коэффициенты фильтрации некоторых пород

Порода	Коэффициент фильтрации, м/сут
Глины	$<0,001$
Суглинки	0,001—0,1
Супесь	0,1—1
Песок мелкозернистый	1—6
Песок средне- и крупнозернистый	6—60
Галечник с песком	20—100
Галечник отсортированный	>100
Бурые угли Днепровского бассейна	0,0001—0,46
Бурые угли других бассейнов	0,5—14

Гидравлическим, или напорным, градиентом называется отношение разности напоров в двух точках гидростатической поверхности к расстоянию между ними, считая по горизонтали.

При гидрогеологических расчетах, наряду с коэффициентом фильтрации, получил распространение коэффициент водопроводимости T:

$$T = kH \text{ м}^2/\text{сут},$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут; H — мощность водоносного горизонта, м.

Коэффициент водопроводимости (м²/сут) выражает способность водоносного горизонта мощностью H и шириной 1 м фильтровать через себя воду в единицу времени при напорном градиенте, равном единице. Коэффициент фильтрации и коэффициент водопроводимости количественно выражают водопроводимость горной породы.

Капиллярные свойства пород. Рыхлые горные породы имеют большое количество мелких пустот и канальцев, обладающих свойствами капилляров, которые разветвляются в разных направлениях, образуя тончайшую капиллярную сетку. Поднятие или опускание жидкости в капиллярах называется капиллярным явлением. Капиллярные явления объясняются действием сил поверхностного натяжения, проявляющихся между молекулами воды и стенками капилляра на границе раздела воды и воздуха; это обусловливает поднятие воды по капиллярным трубкам на ту или иную высоту.

Результаты лабораторных и полевых исследований дают следующие величины предельной высоты капиллярного поднятия (в см):

песок крупнозернистый	12—15
песок среднезернистый	40—50
песок мелкозернистый	90—110
супесь	175—200
суглинок легкий	225—250
суглинок	350—650
глина	до 12 м

Показатели капиллярного поднятия воды в породах используются:

1) для оценки возможности увлажнения нижней части фундаментов зданий, бортов карьеров и отвалов, насыпей железных дорог и автострад, силосных ям и др. Это увлажнение создает излишнюю сырость в помещениях, а также снижает прочность грунтов оснований фундаментов, склонов, откосов карьеров, дорожных насыпей и пр.;

2) для оценки возможности заболачивания территорий, а в засушливых районах — засоления грунтов;

3) для расчета необходимой глубины понижения уровня грунтовых вод при строительстве карьеров и других инженерных сооружений, осушении заболоченных территорий и борьбе с засолением почв на орошаемых массивах.

Влагоемкость — способность горных пород вмещать в своих пустотах и удерживать определенное количество воды при возможности свободного ее вытекания под действием силы тяжести. Различают следующие виды влагомкости: *полную* — максимальное количество воды, удерживаемой породой при полном насыщении всех пустот водой; *капиллярную* — максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах; *пленочную*, или *максимальную молекулярную*, — максимальное количество физически связанной воды, удерживаемой частицами породы; *гигроскопическую* — соответствует количеству прочно связанной (адсорбированной) воды. По степени влагоемкости горные породы подразделяются на: 1) очень влагоемкие (торф, ил, глина, суглинки); 2) слабо влагоемкие (мел, мергель, лёссовые породы, супеси, мелкозернистые пески); 3) невлагоемкие (скальные породы, галечники, гравий, крупнозернистые пески).

Водоотдача — свойство пород, насыщенных водой, свободно отдавать гравитационную воду. Количественно она характеризуется отношением объема свободно вытекающей из породы воды (при полном заполнении пор или трещин) к объему всей породы. Для крупнозернистых песков, гравия и других подобных пород водоотдача равна их пористости или полной влагоемкости в долях объема. Водоотдача мелкозернистых песков, супесей и суглинков значительно меньше и равна разности между полной влагоемкостью и максимальной молекулярной влагоемкостью, выраженной в долях объема. Величина водоотдачи используется при решении вопросов осушения заболоченных территорий, дренирования выемок, определения притоков воды в котлованы и горные выработки и др.

Растворимость. Некоторые породы (известняки, доломиты, мел, гипс, соли и т. п.) при соприкосновении с подземной водой могут полностью или частично растворяться ею. Растворяющей способностью подземная вода обладает только в том случае, если она не насыщена соответствующей солью. Например, подземные воды, насыщенные карбонатом кальция, не будут растворять известняки; насыщенные сульфатом кальция, не растворяют гипс и ангидрит и т. п. Растворяющая способность агрессивных подземных вод зависит также от скорости их движения в породе. Чем больше скорость движения воды, тем выше ее растворяющая способность.

§ 2. Виды воды в горных породах

В порах и трещинах горных пород всегда содержится вода в парообразном, жидком или твердом состоянии. Существуют различные классификации видов воды в горных породах.

В гидрогеологии и инженерной геологии принята классификация, которая была предложена А. Ф. Лебедевым (1930 г.), а затем уточнена в соответствии с новейшими представлениями о природе воды, строении ее молекулы и характере физико-химического взаимодействия воды с минеральными частицами пород.

1. Вода в состоянии пара.

2. Физически связанная вода:

1) прочно связанная, или адсорбированная, вода (ее называют также гигроскопической);

2) рыхло или слабо связанная вода (она же пленочная).

3. Свободная вода:

1) капиллярная;

2) гравитационная.

4. Вода в твердом состоянии.

5. Вода в кристаллической решетке минералов:

1) конституционная;

2) кристаллизационная;

3) цеолитная.

В о д а в с о с т о я н и и п а р а. Эта вода заполняет свободную часть пор в зоне аэрации. Под влиянием изменения температуры и давления парообразная влага может превращаться в капельно-жидкое состояние — *конденсироваться* или, наоборот, жидкая вода превращается в парообразное состояние. Тем самым парообразная влага в порах пород находится в постоянном динамическом равновесии с другими видами воды и с парами воды в атмосфере.

Ф и з и ч е с к и с в я з а н н а я в о д а. Такая вода присуща преимущественно глинистым породам; в скальных и раздельнозернистых породах она практического значения не имеет. Подразделяется на *прочно связанную*, или *адсорбированную*, и *рыхло* или *слабо связанную воду*. Образование физически связанной воды обусловливается наличием у мелкодисперсных глинистых минералов, входящих в состав глинистых пород, поверхностной энергии, природа которой электростатическая. Электростатическое поле, образующееся на поверхности мелкодисперсных минералов, как правило, имеет отрицательный заряд. При взаимодействии мелкодисперсной частицы с водой молекулы воды, являясь жесткими диполями, притягиваются к поверхности частицы положительными концами. Помимо молекул воды к поверхности минеральной частицы притягиваются и катионы из поровой воды. *Поровая вода* — жидккая фаза, заполняющая поры породы; представляет собой водный раствор различных солей.

Молекулы воды и катионы, непосредственно ориентированные поверхностью частицы, прочно связаны с ней; эту воду нельзя отделить от частицы даже силами в несколько тысяч атмосфер, и она перемещается в порах породы только в виде пара. Ее называют *прочно связанной, или адсорбированной.* Наибольшее количество прочно связанной воды называется *максимальной гигроскопической влагоемкостью;* в песчаных грунтах она не превышает 1—2%, а в глинистых достигает 20%.

Если бы не проявлялось молекулярное тепловое (броуновское) движение, то около грунтовой частицы образовался бы неподвижный, адсорбционный слой катионов и молекул воды. Но тепловой эффект обусловливает образование около частиц слоя подвижных катионов, которые в совокупности с катионами неподвижного слоя гасят заряд частицы. Подвижный слой катионов называется *диффузным;* катионы диффузного слоя называются *обменными,* или *поглощенными.* Обменные катионы способны обмениваться с катионами порового раствора; этот процесс называется *ионным обменом.* Ионный обмен, широко распространенный и существенно влияющий на физико-механические свойства глинистых пород, имеет большое практическое значение. Общее количество ионов диффузного слоя глинистой тонкодисперсной частицы, способных к обмену с катионами порового раствора в данных условиях, называют *емкостью обмена,*

или *поглощения, породы.* Количественно емкость обмена выражают в миллиграмм-эквивалентах на 100 г сухой породы.

От состава обменных катионов в значительной степени зависят физико-механические свойства глинистых пород и тем заметнее, чем больше емкость поглощения. Глины, насыщенные натрием, очень сильно набухают в воде, имеют малое сцепление, при действии внешней нагрузки сильно сжимаются; в сухом состоянии обладают значительной связностью и прочностью.

Глины, дуффузный слой которых состоит из ионов кальция, слабее набухают в воде, под нагрузкой они меньше сжимаются и имеют ряд других удовлетворительных механических свойств.

Искусственно меняя состав обменных катионов, можно изменять физико-механические свойства глинистых пород в желаемом для практических целей направлении, что широко используется в практике мелиорации грунтов.

Катионы диффузного слоя также притягивает к себе диполи воды и около них в свою очередь образуется гидратная оболочка. Вода диффузного слоя называется *рыхло связанной.* Энергия связи между частицей и катионами диффузного слоя, а тем самым и рыхло связанной водой интенсивно убывает по мере удаления от поверхности частицы. Рыхло связанная вода называется также *пленочной;* вместе с прочно связанной она, по А. Ф. Лебедеву, называется *молекулярной водой.* Максимальное количество молекулярной воды, удерживаемой данной породой в данных условиях, А. Ф. Лебедев назвал *максимальной молекулярной влагоемкостью.* Эта влагоемкость примерно соответствует влажности нижнего предела пластичности.

Максимальное содержание связанной в глине воды, образующейся за счет различных видов взаимодействия диполей воды с поверхностью частиц, соответствует влажности верхнего предела пластичности и влажности набухания.

Характерными свойствами рыхло связанной воды являются: более медленное по сравнению со свободной водой передвижение (в основном она передвигается по породам от мест с большей толщиной пленок к местам с меньшей их толщиной); прямая зависимость скорости ее передвижения от температуры; пониженная способность растворять соли (растворенные в ней соли передвигаются независимо от передвижения самой воды); замерзание при температуре ниже нуля, причем температура замерзания понижается тем больше, чем более дисперсны частицы; гидростатического давления рыхло связанная вода не передает.

Наличие в глинистых породах рыхло связанной воды придает им ряд важных свойств: липкость, пластичность, набухание, усадку; физико-механические свойства данных пород (сопротивление сжатию и сдвигу) изменяются в обратной зависимости от количества рыхло связанной воды.

Свободная вода. *Капиллярная вода* заполняет капил-

лярные пустоты в породах; она поднимается от уровня подземных вод вверх по капиллярным пустотам под действием силы поверхностного натяжения на границе раздела воды и воздуха, образуя выше уровня подземных вод зону капиллярного насыщения и отделяясь от зоны аэрации *капиллярной каймой.*

Гравитационная вода — подземная вода, движущаяся в порах и трещинах горных пород под действием силы тяжести. Гравитационная вода обладает всеми свойствами, присущими обычной воде: растворяющейся способностью, передает гидростатическое давление, оказывает при движении механическое воздействие на породы. Гидростатическое давление воды, находящейся в порах пород, уменьшает массу скелета породы по закону Архимеда и оказывает взвешивающее давление на подошву сооружений, построенных на водонасыщенных породах. Механическое действие движущейся воды на породы проявляется в выносе мелких частиц из рыхлых несвязных пород на откосах выемок и котлованов — *суффозии,* что может вызвать неустойчивость откосов и последующую деформацию склонов. В зоне полного насыщения всех пустот в породе гравитационные воды образуют водоносные горизонты. Изучение гравитационных вод, их движения, физических свойств и химического состава является основной задачей гидрогеологических исследований.

Вода в твердом состоянии. При температуре пород ниже нуля гравитационная и часть связанной воды замерзает и содержится в породах в виде кристаллов льда или ледяных прослоев и жил. Кристаллы льда цементируют отдельные минеральные частицы, превращая рыхлые породы в твердые. Свойства пород, сцементированных льдом, резко отличны от свойств талых пород. Изучением свойств мерзлых пород занимается особая наука — *мерзлотоведение.*

Вода в кристаллической решетке минералов. *Конструкционная вода* входит в состав кристаллической решетки минералов в виде ионов H^+ и OH^-, участвуя в их строении, например $Ca(OH)_2$. При разрушении кристаллической решетки минералов выделяются водород и гидроксил, которые связываются и образуют молекулы воды. Выделение конституционной воды при нагревании у каждого минерала происходит в определенном температурном интервале (обычно свыше 300° С) и сопровождается поглощением тепла. Это позволяет определять некоторые минералы при помощи термического анализа, для чего употребляются специальные приборы — *термографы.*

Кристаллизационная вода участвует в строении кристаллической решетки некоторых минералов в виде молекул воды в строго определенных количествах (например, в гипсе $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, в мирабилите $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. Эта вода, как и конституционная, выделяется из минералов при строго определенной для каждого минерала температуре (ниже 300° С) и сопровождается поглощением тепла, что и позволяет определять иссле-

дуемый минерал при помощи термического анализа. Выделение кристаллизационной воды обусловливает разрушение решетки минерала и ее перестройку (например, гипс превращается в ангидрит).

Цеолитная вода — часть кристаллизационной воды, которая может выделяться и вновь поглощаться без разрушения кристаллической решетки, входит в состав кристаллических решеток некоторых минералов — *цеолитов,* представляющих собой водные алюмосиликаты.

Глава 2
ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА

§ 3. Круговорот воды в природе

Вода в природе встречается в трех состояниях: парообразном, жидком и твердом. Переход воды из одного состояния в другое происходит под влиянием солнечного тепла и частично — жизнедеятельности организмов и иных факторов.

В атмосфере вода содержится в виде пара, в капельно-жидком (облака и туман) и твердом состоянии (ледяные кристаллы, град, снег). В среднем в атмосфере содержится около 14 тыс. км^3 воды, преимущественно в виде пара. Но благодаря постоянному пополнению атмосферной влаги за счет испарения на поверхность земли ежегодно выпадает около 520 тыс. км^3 осадков.

На поверхности земли вода в жидком состоянии скапливается в океанах, морях, озерах, болотах, реках, образуя *гидросферу,* а также находится в виде ледников и снега; основная масса воды гидросферы составляет Мировой океан — около 1370 млн. км^3. В водах Мирового океана в колоссальных количествах в растворенном виде находятся почти все элементы таблицы Менделеева, например: золота около 10 млрд. т, серебра около 200 млрд. т (данные Л. А. Зенкевича). Морская вода содержит примерно $2 \cdot 10^{13}$ т тяжелой воды. Теоретически запасов тяжелой воды как источника ядерной энергии хватит человечеству на миллиарды лет.

В земной коре — *литосфере* — вода содержится в виде парообразной, физически связанной, жидкой, химически связанной и в твердом состоянии.

Вода, находящаяся во всех живых организмах и растениях, образует *биосферу.*

Воды атмосферы, гидросферы, верхней части литосферы и биосферы находятся в самой тесной связи между собой. Испаряясь с поверхности океанов, морей, озер, других водоемов и с суши, а также превращаясь в парообразное состояние в резуль-

тате жизнедеятельности организмов, вода переходит в атмосферу, а из атмосферы вновь выпадает на поверхность земли в виде дождя, града, снега и стекает в океаны и озера, составляя звенья общего круговорота воды на земле, одного из самых грандиозных транспортных процессов (рис. 1). Это один из главных механизмов, обусловливающих формирование поверхности земли, обмен веществ и энергии.

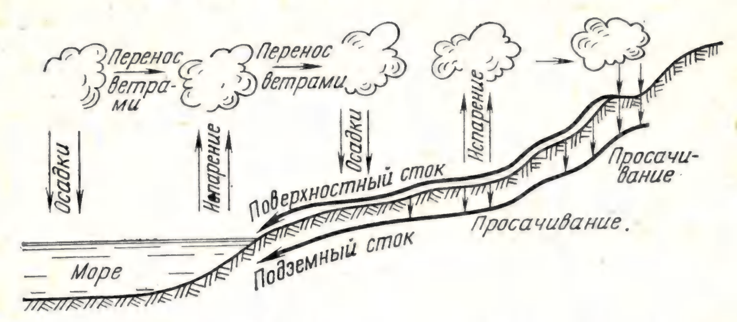


Рис. 1. Схема круговорота воды в природе

Основным звеном в круговороте воды в природе является испарение. С поверхности океанов ежегодно испаряется 448 тыс. км³, а с поверхности суши и замкнутых морей 72 тыс. км³.

Испарение — процесс превращения воды из жидкого состояния в парообразное под влиянием температуры. В атмосферу парообразная влага поступает путем испарения с поверхности океанов, морей, озер, болот, влажной почвы и листьев растений. Подземные воды могут испаряться лишь на тех участках, где высота капиллярного поднятия достигает дневной поверхности.

Особым видом испарения является образование парообразной влаги в результате жизнедеятельности растений (травяной и древесной) — *транспирации*.

Испарение на суше зависит от многих факторов: температуры, атмосферного давления, скорости движения ветра, дефицита влажности воздуха, количества осадков, характера растительного покрова, характера пород и почвы, рельефа, экспозиции места, близости уровня подземных вод и т. п. Чем выше температура местности и скорость движения ветра, тем при прочих равных условиях больше испарение; чем более влажен воздух, тем меньше испарение; чем более водопроницаемы породы и почвы, тем меньше испарение; со склонов южной экспозиции влаги испаряется больше; чем ближе к поверхности земли уровень грунтовых вод, тем больше испаряется влаги, поднимающейся по капиллярам в породах. Так, на севере европейской части СССР на испарение расходуется около 40 % выпадающих осадков, а на юге Украины — более 90%.

Испарение имеет существенное значение при решении вопросов осушения, орошения, при гидрогеологических исследованиях.

Атмосферные осадки. Как указывалось, вода в атмосфере содержится в виде водяного пара и в других состояниях. В совершенно чистом воздухе сжижение водяных паров не происходит даже при охлаждении воздуха до точки росы и ниже. Для образования капелек воды, из которых состоят облака и туман, необходимо наличие в воздухе *ядер конденсации*, на поверхности которых и происходит сжижение водяного пара. В нижних слоях атмосферы содержатся многочисленные мелкие твердые частички (пыль, дым, растительные споры и т. п.), обладающие гигроскопичностью или химическим сродством с водой, которые и являются ядрами конденсации.

Атмосферные осадки подразделяются на два типа: 1) осадки, образующиеся непосредственно на поверхности земли и наземных предметах вследствие понижения температуры воздуха до точки росы (роса, иней, изморозь и пр.); 2) осадки, выпадающие на поверхность земли из облаков (дождь, град, снег, крупа).

Количество осадков измеряется толщиной слоя воды в миллиметрах, который образовался бы при отсутствии стока и испарения. Для общей характеристики климата приводится среднее годовое количество осадков, желательно за период 50 лет и более.

Интенсивность осадков — количество осадков, выпавших за 1 мин. Осадки с интенсивностью больше 0,5—1 мм/мин называются *ливнями*.

В пределах СССР атмосферные осадки выпадают крайне неравномерно по сезонам и по отдельным районам. Поэтому подсчитывают среднемесячные и сезонные их количества. Летом в европейской части осадков выпадает больше, чем зимой, а в Средней Азии — очень мало, а в иные годы равно нулю. Наибольшее среднегодовое количество осадков выпадает на Черноморском побережье Кавказа от Сочи до Батуми (1200—2870 мм в год). Максимальное количество осадков в СССР выпадает в Аджарии (3836 мм) и в Сванетии (до 5000 мм). В средней полосе европейской части СССР осадков выпадает 400—600 мм, в северных районах — 100—300 мм, в Прикаспийском районе — 150—200 мм в год.

Атмосферные осадки имеют решающее значние в питании подземных вод. При определении роли атмосферных осадков в питании подземных вод необходимо учитывать не только абсолютное количество осадков, но и их продолжительность, интенсивность, вид (жидкие, твердые), время выпадения, а также общие климатические, физико-географические и геологические условия изучаемой территории.

Для питания подземных вод наиболее благоприятными являются длительные и не очень интенсивные дожди, выпадающие весной и осенью. Мало благоприятны ливни, во время которых большая часть осадков не успевает впитаться и быстро стекает по поверхности земли.

В умеренном климате (на большей части СССР) зимой осадки выпадают в виде снега. От годовых осадков снег составляет в Архангельске 31%, в Москве 28%, в Херсоне 11%, в Амурской области 3%. Наибольшая среднегодовая высота снегового покрова наблюдается на Урале и в Приуралье (до 90 см), в Москве она составляет 60 см, на юге СССР — менее 10 см.

В гидрогеологическом отношении имеет значение число дней со снеговым покровом, его высота и плотность, так как от этого зависит продолжительность весеннего снеготаяния, величина поверхностного стока в период половодья и инфильтрующихся в землю осадков, повышающих уровень грунтовых вод.

Количество выпадающих атмосферных осадков замеряется *дождемерами*, или *осадкомерами*, конструкция которых и методика работы с ними описываются в специальных руководствах по климатологии.

§ 4. Поверхностный и подземный сток. Уравнение водного баланса

Под *стоком* (речным стоком) понимают часть атмосферных осадков, которые стекают с определенной площади в реку по склонам и в виде подземного потока, движущегося от места инфильтрации до места выклинивания в виде источников.

Поверхностный сток является одним из важнейших элементов круговорота воды в природе. Количество осадков, идущих на поверхностный сток, зависит от климатических условий, вида осадков, рельефа местности, водопроницаемости горных пород, растительности и искусственных факторов (создание водохранилищ на реках, оросительных систем, полезащитных лесных полос и т. п.). Чем больше выпадает осадков, меньше испарение и больше расчленен рельеф местности, тем больше поверхностный сток.

Лесная растительность повышает подземный и снижает поверхностный сток, замедляя темпы весеннего половодья и снижая эрозионную деятельность стекающей воды. В засушливых районах (юг и юго-восток европейской части СССР), где осадков выпадает мало, а испарение велико, многие реки летом не имеют стока, пересыхают. В суровые зимы также наблюдается малый речной сток, формирующийся только за счет питания рек подземными водами. Осенью на некоторых реках прослеживается второй, меньший по величине, чем весенний, паводок при малом испарении с почвы и растительности. Выход на поверхность земли водопроницаемых пород, способствуя просачиванию

атмосферных осадков, повышает подземный и снижает поверхностный сток.

Подземные воды питают реки в результате дренирования водоносных горизонтов, когда склоны речных долин их пересекают. Равнинные реки СССР весной, летом и осенью питаются одновременно поверхностными водами (за счет дождей) и подземными водами, а зимой и в период засухи — почти исключительно за счет подземных вод.

Величину стока на площади всего бассейна реки или части бассейна определяют замерами расхода речного стока на гидрометрических станциях и постах, организованных в устье или в другом пункте реки. Под *расходом реки* понимается количество воды, протекающее в единицу времени через поперечное сечение потока воды. Чтобы определить расход воды в том или ином сечении, необходимо знать среднюю скорость движения воды в реке v (м/с) и площадь водного потока F (м^2). Тогда расход реки

$$Q = vF. \tag{1}$$

Скорость движения воды в реке по створу измеряют на определенных расстояниях и глубинах гидрометрической вертушкой или поплавком.

Количественно величина стока характеризуется коэффициентом стока и модулем стока.

Коэффициент стока — отношение количества воды, стекающей с площади водосборного бассейна за определенный период, к количеству выпавших осадков за тот же период в бассейне реки:

$$\eta = \frac{h}{x} \cdot 100\%, \tag{2}$$

где η — коэффициент стока, %; h — количество стекающей воды, мм водяного слоя; x — количество осадков, мм.

Модуль стока M — количество воды Q (в л), стекающей в 1 с с 1 км^2 водосборной площади бассейна реки F:

$$M = \frac{Q}{F}. \tag{3}$$

Величина модуля стока в течение года не остается постоянной. Максимальный модуль стока наблюдается в период весеннего паводка, минимальный в летний или зимний период, когда имеет место в основном подземное питание реки. Обычно для характеристики стока в районе работ пользуются средним многолетним модулем стока.

Карты территории СССР и отдельно европейской его части с изолиниями среднего многолетнего модуля стока, составленные Б. Д. Зайковым (1946 г.) и уточненные К. П. Воскресенским (1962 г.), показывают, как на европейской части СССР с изме-

нением климатических условий с севера на юг снижается величина модуля стока, изменяясь от 10 л/с в районе Ленинграда до 0,5 л/с в районе Одессы, на Кавказе средний модуль стока местами достигает 75—100 л/с. Средний многолетний модуль стока для всей территории СССР составляет около 6 л/с с 1 км².

Общий модуль стока включает в себя модули поверхностного и подземного стока. Для характеристики величины стока и разделения его на поверхностный и подземный необходимо знать площади водосбора поверхностных и подземных вод. Водосборную площадь поверхностного стока можно определить по горизонталям на топографической карте. Нередко ее считают водосборной площадью подземного стока, хотя это неточно, потому что размеры площади водосбора подземных вод определяются геологическим строением местности.

Величину подземного стока характеризует расход реки в летний (меженный) период года при отсутствии дождевого паводка и в зимнее время при отсутствии значительных оттепелей. Подземный сток составляет 20—60% общего стока. Так, например, подземное питание Днепра составляет 33% общего стока или 8,5% выпавших осадков. По данным Б. В. Полякова (1948 г.), для малых рек подземный сток не превышает 30% общего стока. В карстовых районах, благодаря благоприятным условиям для просачивания воды, подземный сток очень велик. Так, в Крыму в районе карстового источника Аян подземный сток составляет 93% выпадающих осадков.

В гидрогеологии важно знать величину подземного стока для того или иного участка реки. Существуют многочисленные способы определения величины подземного стока, описываемые в специальной литературе. Наиболее полно подземный сток оценил Б. И. Куделин (1966 г.).

Модуль подземного стока является надежным показатем при оценке водоносности горных пород, распространенных на площади водосборного бассейна реки, и используется при гидрогеологических расчетах.

Осадки, сток и испарение, участвующие в круговороте воды в природе, являются элементами водного баланса того или иного района.

Уравнение водного баланса суши имеет вид: О (осадки) = = С (поверхностный сток) + Ин (инфильтрация) + И (испарение).

Объединяя поверхностный и подземный стоки в один речной сток, уравнение водного баланса можно представить следующим образом: О (осадки) = С (речной сток) + И (испарение).

Располагая метеорологическими данными, в том числе картами осадков и стока (Ц. А. Швер, 1976 г., 1962 г.), можно составить уравнение водного баланса интересующего района.

Выпадающие атмосферные осадки существенно влияют на величину водопритока в открытые горные выработки. Приток формируется непосредственно за счет атмосферных осадков в пе-

риод снеготаяния и ливневых вод, стекающих в карьер с водосборной площади, и подземных вод, поступающих в карьер при осушении водоносных горизонтов, залегающих на месторождении, основным источником питания которых являются инфильтрующиеся атмосферные осадки.

Водообильность карьеров и неглубоких шахт больше в районах с большим количеством осадков и меньше в районах с недостаточным увлажнением и засушливых.

Глава 3
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ И КОМПЛЕКСОВ

§ 5. Происхождение подземных вод

Подземные воды образуются в основном путем инфильтрации атмосферных осадков, а частично за счет конденсации парообразной влаги из воздуха при понижении температуры воздуха, находящегося в порах пород, до точки росы. Происхождение подземных вод путем инфильтрации осадков было доказано Э. Мариоттом (1620—1684 гг.) и М. В. Ломоносовым (1711—1765 гг.). Экспериментальными работами и наблюдениями в горных выработках они установили прямую зависимость между выпадающими атмосферными осадками и режимом подземных вод, а также притоками воды в горные выработки. В засушливых районах вблизи поверхности земли подземные воды образуются путем конденсации, что было доказано опытами А. Ф. Лебедева (1930 г.). Часть подземных вод, будучи захороненной в порах осадочных толщ, образуется одновременно с осаждением терригенных материалов на дне водоемов; эти воды называются *седиментационными.*

Первоначально, по мнению большинства исследователей, вода на земле образовалась из магмы; в процессе ее охлаждения и кристаллизации наряду с твердыми и газообразными компонентами выделялась также вода в виде пара, конденсировавшегося затем в жидкое состояние. И в настоящее время при вулканических извержениях в составе летучих преобладает вода в парообразном состоянии. Подземная вода, образующаяся из магмы, называется *ювенильной.*

В круговороте воды на земле наиболее активно участвуют воды инфильтрационного и в меньшей мере конденсационного происхождения; седиментационные воды, входящие в состав древних осадочных толщ, могут включаться в общий круговорот в результате геологических процессов (сжатия в складки, разрушения вышележащих толщ, образования трещин и т. п.) и время их круговорота измеряется геологическими масштабами

времени. Еще меньше доля участия в общем круговороте ювенильных вод.

В местах залегания месторождений полезных ископаемых подземные воды образуются преимущественно путем инфильтрации. Об этом свидетельствует наблюдаемое почти во всех шахтах и рудниках увеличение притоков воды в горные выработки в весеннее время и после выпадения дождей, хотя и с некоторым запаздыванием.

§ 6. Условия залегания подземных вод

Подземные воды залегают в водопроницаемых рыхлых (песок, гравий) и скальных (известняк, песчаник и др.) горных породах. При характеристике условий залегания подземных вод применяют следующие понятия и термины.

Водоносные породы — пласты, линзы и другие формы залегания водопроницаемых пород, в которых поры, трещины и другие пустоты заполнены гравитационной водой.

Водоносный горизонт — часть пласта или пласт, заполненный водой, приуроченный к одному или нескольким регионально выдержанным водопроницаемым породам, гидродинамически связанным между собой и имеющим общую гидравлическую (при безнапорных водах) или пьезометрическую (при напорных водах) поверхность.

Водоносный комплекс — комплекс водоносных горизонтов, одинаковых или разных по литологическому составу и пористости, приуроченных к породам какого-либо стратиграфического подразделения, среди которых вследствие изменчивости их вещественного состава, сложности тектонических условий или недостаточной изученности водовмещающих пород нельзя выделить отдельные гидравлически самостоятельные водоносные горизонты.

Площадь, в пределах которой распространен водоносный горизонт или комплекс, называется *областью,* или *площадью,* их распространения, а площадь, где происходит питание водоносного горизонта, — *областью питания.* Площадь, где подземные воды вытекают из водоносного горизонта или комплекса, называется *областью разгрузки* или *дренажа.* Области питания и распространения водоносных горизонтов (комплексов) могут совпадать (в случае безнапорных) и не совпадать (в случае напорных вод).

В практике горного дела водоносные горизонты подразделяются в зависимости от их положения относительно пласта полезного ископаемого: если водоносные горизонты залегают над полезными ископаемыми, они называются *надрудными (надугольными),* если ниже — *подрудными (подугольными).*

Условия питания водоносных горизонтов зависят от многих факторов. Ведущую роль играет климат. Подземных вод больше

там, где выпадает много атмосферных осадков. Большое значение имеют литологический состав пород, залегающих на поверхности, а также рельеф поверхности (плоский, изрезанный, горный и т. п.).

Грунтовые воды — подземные воды первого от поверхности земли постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водонепроницаемом слое. Грунтовые воды имеют свободную водную поверхность.

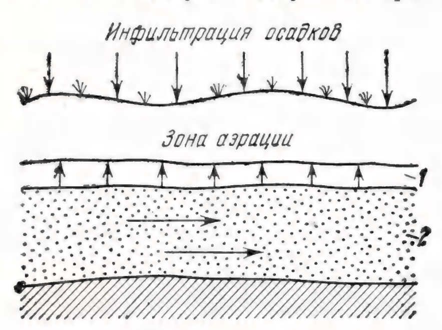
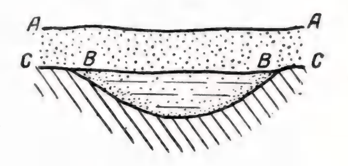


Рис. 2. Распределение подземной воды в верхней части земной коры

Рис. 3. Схема грунтового бассейна



Атмосферные осадки или поверхностные воды, просачиваясь в поры и пустоты горных пород, достигают на какой-то глубине водоупорный слой, где начинают скапливаться, образуя грунтовые воды. Расстояние от поверхности грунтовых вод до водоупорного слоя называется *мощностью водоносного горизонта.*

Верхняя зона земной оболочки между земной поверхностью и поверхностью грунтовых вод называется *зоной аэрации.* В породах этой зоны в порах, трещинах и других пустотах находится парообразная, физически связанная и капиллярная вода (рис. 2).

Поверхность грунтовых вод часто называют *уровнем* или *зеркалом грунтовых вод.* Глубина залегания зеркала грунтовых вод может быть самой различной.

Грунтовые воды, у которых зеркало представляет собой горизонтальную поверхность, называются бассейном грунтовых вод. Бассейны грунтовых вод образуются чаще всего при наличии в водоупорном ложе котловины (мульды) (рис. 3).

Если же зеркало грунтовых вод наклонное, что свидетельствует об их движении в направлении уклона, то они носят название *потока грунтовых вод.*

Источниками питания грунтовых вод являются: просачивающиеся атмосферные осадки (дождь, тающий снег); инфильтрующиеся поверхностные воды (рек, озер, прудов); подток из других водоносных горизонтов (напорных трещинных, карстовых); конденсация паров воды.

Питание грунтовых вод за счет поверхностных происходит повсеместно. В период весенних половодий, а также при выпа-

дении обильных осадков уровень поверхностных вод значительно повышается, превышая уровень грунтовых вод на прибрежной территории. В результате значительная масса воды из поверхностного водоема просачивается в породы, слагающие берега водоема, питая грунтовые воды. В меженный период, когда уровень воды в водоеме более низкий, наоборот, грунтовые воды питают водоемы.

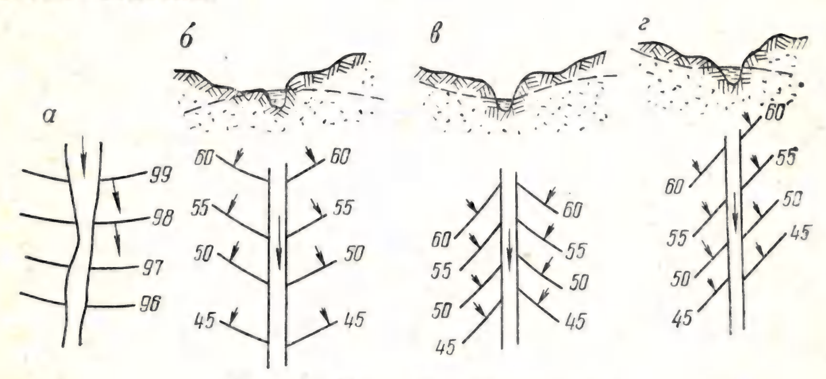


Рис. 4. Схема карт гидроизогипс:

а — гидроизогипсы пересекают водоток без искривления; *б* — река питает грунтовые воды; *в* — грунтовые воды питают реку; *г* — река дренирует (на правом склоне) и питает (на левом) грунтовые воды

Из сказанного следует, что между поверхностными и грунтовыми водами существует постоянная *гидравлическая связь*. О характере этой связи можно судить по карте *гидроизогипс*.

Гидроизогипсами называют линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками уровней грунтовых вод. Их строят точно так же, как и изогипсы рельефа земной поверхности.

Если гидравлической связи между поверхностными и грунтовыми водами не существует, то гидроизогипсы пересекают поверхностный водоем без искривлений (рис. 4, *а*). Если грунтовые воды питаются за счет инфильтрации поверхностных вод, то гидроизогипсы изгибаются вниз по течению рек (рис. 4, *б*), так как зеркало грунтовых вод в этом случае имеет наклон от реки. Если грунтовые воды питают поверхностный водоток, то гидроизогипсы будут изогнуты вверх по течению реки (рис. 4, *в*), так как зеркало грунтовых вод в этом случае наклонено к реке. Возможна и такая связь между грунтовыми и поверхностными водами, когда с одного склона долины грунтовые воды питают реку, а с другого река питает грунтовые воды. В этом случае гидроизогипсы с одной стороны будут изогнуты вверх по течению, а с другой — вниз по течению реки (рис. 4, *г*).

При гидрогеологических исследованиях определение характера питания исследуемого водоносного горизонта является весьма важной задачей, особенно при осушении месторождений полезных ископаемых, так как выбор наиболее рациональных

способов осушения в значительной степени определяется условиями питания водоносных горизонтов, подлежащих осушению.

Межпластовые подземные воды приурочены к водоносному горизонту, подстилаемому и перекрываемому водоупорными породами. Водонепроницаемые породы, подстилающие водоносный горизонт, называются *водоупорным ложем,* а водоупорные породы, перекрывающие водоносный слой, — *водоупорной кровлей.*

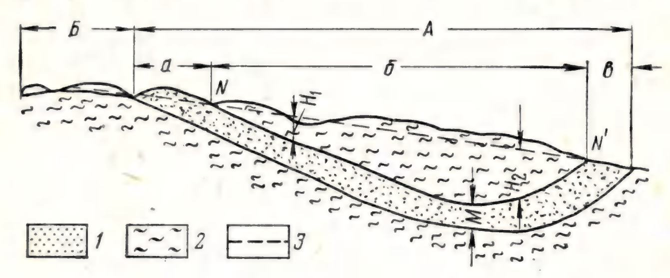


Рис. 5. Схема артезианских вод:

1 — водоносный пласт; *2* — водоупорные породы; *3* — уровень воды; *А* — пределы распространения артезианских вод; *Б* — пределы распространения грунтовых вод; *а* — область питания напорных вод; *б* — область напора; *в* — область разгрузки; H_1 — напорный уровень выше поверхности земли; H_2 — напорный уровень ниже поверхности земли; *М* — мощность напорного водоносного горизонта; *N—N'* — пьезометрическая поверхность

Межпластовые воды могут быть безнапорными и напорными. Межпластовые безнапорные воды встречаются сравнительно редко. Надугольный водоносный горизонт на буроугольных месторождениях Днепровского бассейна является типичным примером межпластовых безнапорных подземных вод. Межпластовые безнапорные воды характерны для многих месторождний Канско-Ачинского буроугольного бассейна, Черемховского бассейна и некоторых других.

Межпластовые воды бывают напорными, когда все поры и пустоты водоносного пласта заполнены и вода в водоносном горизонте находится под гидростатическим давлением. Напорные подземные воды, приуроченные к водоносным горизонтам, залегающим обычно на значительной глубине в пределах крупных тектонических структур мульдообразного или моноклинального строения (рис. 5), называются *артезианскими.*

При вскрытии скважиной водоносного пласта с напорной водой уровень воды в ней поднимается выше водоупорной кровли водоносного горизонта. Линия $N — N'$, определяющая положение напорного уровня в водоносном пласте, называется *гидростатическим*, а чаще *пьезометрическим уровнем* артезианского пласта. Линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня, называются *гидроизопьезами,* а сама карта — *картой гидроизопьез.*

Высота подъема воды выше водоупорной кровли называется *напором.*

Обычно в толще осадочных пород имеется несколько водоносных пластов с напорной водой, образующих поэтажное расположение водоносных горизонтов.

При характеристике артезианских водоносных горизонтов, помимо глубины залегания водоносного слоя, необходимо также знать и величину напора воды в каждом пункте распространения водоносного горизонта. Поэтому при изучении артезианских вод на карте в изолиниях показываются отметки кровли водоносного горизонта. Подобная карта называется картой изогипс водоупорной кровли. Для решения практических задач карты поверхности земли в горизонталях, гидроизопьез и изогипс водоупорной кровли водоносного горизонта совмещают. Пользуясь совмещенной картой, можно легко и быстро определять глубину залегания артезианского горизонта в каждом пункте, величину напора, направление движения артезианских вод, определять, будет ли в данном месте скважина фонтанировать или же вода остановится на какой-то глубине ниже поверхности земли. Эта глубина может быть определена точно.

Геологические структуры, содержащие один, два или несколько напорных водоносных горизонтов и распространенные на значительной площади, называются *артезианскими бассейнами*. Артезианские бассейны выделяются на основании тектонических, стратиграфических и литологических признаков. Площадь артезианских бассейнов колеблется от нескольких десятков до сотен тысяч и миллионов квадратных километров. В пределах СССР имеется свыше ста артезианских бассейнов, воды которых широко используются для питьевого и хозяйственного водоснабжения.

На рис. 6 показана общая схема залегания подземных вод.

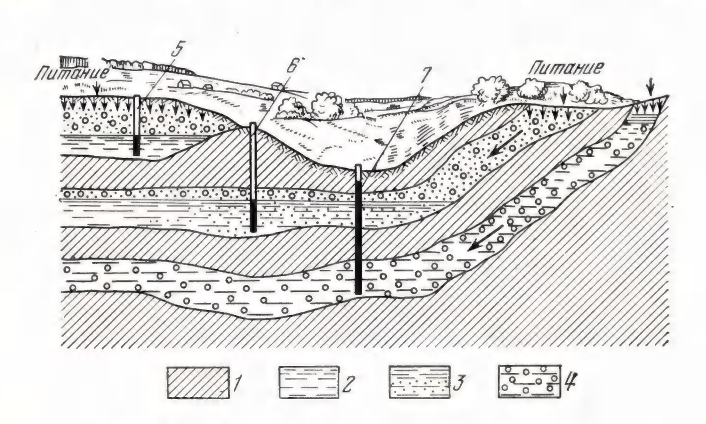


Рис. 6. Схема залегания подземных вод:

1 — водоупорные породы; *2* — грунтовые воды; *3* — межпластовый безнапорный водоносный горизонт; *4* — артезианский напорный водоносный горизонт; *5* — колодец, питающийся грунтовой водой; *6* — колодец, питающийся межпластовой водой; *7* — артезианская скважина

Источники — естественные выходы подземных вод на поверхность земли. Они делятся на нисходящие и восходящие.

Нисходящие источники образуются при выходе на земную поверхность грунтовых или безнапорных межпластовых вод (рис. 7). Образуются они на склонах речных долин, балок, оврагов, а также в карьерах. В местах выхода на поверхность грунтовых вод наблюдается либо заболоченность, либо сосредоточенные струи воды, образующие ручейки.

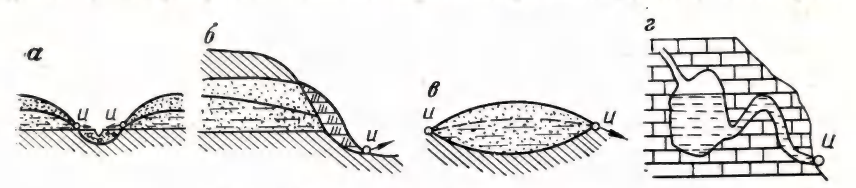


Рис. 7. Схемы выходов источников:

а — симметричное расположение источников в долине реки; *б* — источник, перекрытый делювием; *в* — переливающийся источник; *г* — сифонный источник; *и* — выход подземных вод на поверхность

При горизонтальном залегании водоупорного ложа источники образуются равномерно по обеим сторонам долины (рис. 7, *а*) на одной и той же высоте; если водоупорное ложе залегает наклонно, источники выходят на одной стороне долины. В том случае, когда склоны долины, вскрывающие водоносный горизонт, покрыты наносами, последние будут маскировать истинный выход грунтовых вод на поверхность, способствуя появлению источников в другом месте (рис. 7, *б*).

Помимо постоянно действующих нередко встречаются источники периодически действующие, которые образуются в тех случаях, когда на поверхности водоупорного ложа имеются понижения (рис. 7, *в*). При повышении уровня грунтовых вод они начинают переливаться через край впадины, образуя действующий источник, а при понижении — иссякают.

В карстовых районах встречается особый тип периодически действующих источников, которые называются *сифонными* (рис. 7, *г*). Подобные источники образуются, когда канал, выводящий из карстовой пещеры воду, имеет форму сифона. При повышении уровня воды в пещере до высоты верхнего колена сифона источник начинает действовать; когда вода из пещеры по сифону вытечет, источник иссякнет. Карстовые источники часто встречаются на Урале, в Тульской и Орловской областях, на Кавказе, в Крыму и других местах СССР.

Дебит нисходящих источников зависит от ряда факторов и изменяется от долей литра до нескольких десятков кубических метров в секунду.

Восходящие источники образуются в местах выхода на земную поверхность напорных вод. Отличительной их чертой является характер выхода струи воды, которая, поднимаясь под

напором снизу, как бы бурлит, бьет ключом. Когда восходящий источник пробивается через песок, на дне водоема образуются небольшие углубления — кратеры, из которых вырываются хорошо видимые струи воды.

Восходящие источники могут образовываться под действием гидростатического давления, давления газа (нарзаны) или водяного пара (гейзеры). Вода восходящих источников часто имеет лечебное значение (нарзан в Кисловодске, радоновые воды в Цхалтубо, источник Дарасун в Забайкалье и др.).

Режим подземных вод — изменение во времени уровня, температуры, химического состава и расхода подземных вод под влиянием естественных и искусственных факторов. Режим подземных вод определяется геологической обстановкой и климатическими условиями, а также хозяйственной деятельностью человека (осушение, орошение, строительство подпорных гидротехнических сооружений, водоотлив из горных выработок и т. п.).

Динамический режим грунтовых и артезианских вод существенно различен. Режим грунтовых вод всецело определяется метеорологическими факторами: атмосферными осадками, температурой воздуха, давлением, испарением. Неравномерность инфильтрации атмосферных осадков является основной причиной изменения режима грунтовых вод. Изменения уровня грунтовых вод наблюдаются не только в течение одного года, но и в многолетний период.

Колебания уровней в трещиноватых и закарстованных породах имеют свою специфику. Максимальное повышение уровней подземных вод весной происходит быстрее непосредственно в период снеготаяния. Значительное повышение уровней наблюдается также во время летних и осенних дождей, в том числе и ливневого характера. Амплитуда годовых колебаний может достигать 10 м и более.

Динамический режим артезианских вод в естественных условиях характеризуется бóльшим постоянством по сравнению с режимом безнапорных вод. Значительное влияние на режим напорных вод оказывает деятельность человека; из недр земли ежегодно извлекаются огромные массы подземных вод для нужд питьевого, хозяйственного и технического водоснабжения, лечебных целей, ирригации, добычи химического сырья, а также при искусственном водопонижении в связи с производством строительных, горных и других работ. Во многих крупных городах мира с помощью буровых скважин в течение десятков лет эксплуатируются артезианские воды, в результате чего их уровни значительно снизились: в Москве на 40—90 м, в Ленинграде на 50 м, Киеве на 60 м, в Лондоне более чем на 100 м, в Париже на 120 м. Понижение уровней наблюдается на площади в сотни квадратных метров. На отдельных месторождениях полезных ископаемых глубина обезвоживания достигает 1000 м и более. Снижение уровней влечет за собой и изменение физических

свойств, химического, газового и бактериального состава подземных вод, исчезновение источников, обезвоживание рек и озер, изменение состояния и свойств пород и многие другие процессы.

При создании водохранилищ на реках уровень воды в водохранилищах значительно превышает уровни, бывшие в реках. Это обусловливает и соответствующие изменения на прилежащих территориях уровней подземных вод, что в свою очередь приводит к изменению их количества, условий движения, физических и особенно химических свойств.

Проведение горных работ в целях выемки полезных ископаемых сопровождается откачками из шахт огромных масс воды. Из шахт Донецкого бассейна, которые не характеризуются особой водообильностью, откачивалось в среднем 8,3 м³/с. Естественно, что откачки из горных выработок существенно влияют на режим подземных вод. В том же Донбассе наблюдаются многочисленные случаи «пересыхания» колодцев, находящихся нередко на расстоянии многих километров от границ шахтных полей. Это же отмечается всюду, где ведутся горные работы.

При добыче полезных ископаемых нарушение общих гидрогеологических условий существенно сказывается и на минерализации рудничных (шахтных) вод. Как правило, кислотность и агрессивность рудничных вод на многих рудниках (медных, колчеданных и др.) с течением времени возрастает, что отрицательно влияет на насосы, трубы, рельсы и другое оборудование.

Изучение режима подземных вод имеет важное практическое значение. Необходимо систематическое изучение режима подземных вод на месторождении. Получаемые при этом данные обрабатываются, необходимые мероприятия по осушению уточняются.

Классификация подземных вод. Подземные воды залегают в земной коре в самых разнообразных геологических условиях. Химический состав вод различный, направление их изучения зависит от характера использования. Поэтому в основу классификации могут быть положены различные признаки: способ образования, условия залегания, гидравлические свойства, возраст и литологический состав водоносных пород, степень минерализации, состав растворенных солей и газов и др.

По условиям залегания, циркуляции и характеру вмещающих горных пород подземные воды делятся на следующие типы: 1) *поровые* воды, залегающие и циркулирующие в порах рыхлых четвертичных отложений, слагающих самую поверхностную часть земной коры; 2) *пластовые* воды, залегающие и циркулирующие в порах или трещинах осадочных горных пород, перекрываемых и подстилаемых водоупорными породами; эти воды подразделяются на *порово-пластовые* и *трещинно-пластовые;* 3) *трещинные* воды, залегающие и циркулирующие в скальных (осадочных, магматических и метаморфических) породах, пронизанных равномерной трещиноватостью; 4) *карстовые воды,* циркулирую-

щие в массивах карбонатных, гипсоносных и соленосных раскарстованных пород; 5) *трещинно-жильные* воды, циркулирующие в отдельных открытых тектонических трещинах и в зонах тектонических нарушений. От типа подземных вод зависит величина и режим притоков воды в горные выработки, особенно при прорывах.

§ 7. Виды запасов и баланс подземных вод

Понятие о классификации запасов подземных вод. При разведке подземных вод для водоснабжения, оценки обводненности горных выработок и решения других практических задач необходимо дать количественную оценку запасов (ресурсов)* подземных вод. Запасы (ресурсы) подземных вод по видам подразделяются на естественные, эксплуатационные и искусственные [20].

Естественные запасы представляют собой объем подземных вод, находящихся в порах и трещинах водоносного пласта в спокойном состоянии (так называемые статические запасы), и расход движущихся подземных вод в естественных условиях (естественные ресурсы или динамические запасы), не измененный искусственными факторами (ведозаборами, откачками из горных выработок и др.).

Эксплуатационными запасами согласно «Инструкции по применению классификаций эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям пресных вод» (1977 г.), называется «количество подземных вод в кубических метрах в сутки, которое может быть получено рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями, при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного срока водопотребления». Эксплуатационные запасы подземных вод представляют собой производительность водоносного пласта (или систему пластов), способного в течение длительного времени при водоотборе давать неизменное количество воды нужного качества. Эксплуатационные запасы определяются путем проведения опытно-фильтрационных исследований и утверждаются Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ).

Методы подсчета естественных и эксплуатационных запасов (ресурсов) подземных вод изложены в специальной литературе [3, 13, 20 и др.].

Искусственные запасы образуются за счет пополнения подземных вод поверхностным путем возведения специальных гидротехнических сооружений, поглощающих скважин, канав, фильтрационных бассейнов и путем задержки и перераспределения

* В понятие «ресурсы» некоторые авторы вкладывают смысл о возобновляемости подземных вод в процессе их отбора.

поверхностного стока. Сооружения для искусственного пополнения запасов подземных вод с прилегающим к ним участком питания водоносного горизонта называют иногда «фабриками» подземных вод.

Понятие о балансе подземных вод. Под балансом подземных вод какого-либо района понимается сложный природный процесс их питания и расходования за определенный промежуток времени, обусловливаемый естественными факторами и хозяйственной деятельностью человека. Определение баланса подземных вод представляет собой довольно сложную задачу и более или менее обоснованно решается путем проведения комплекса наблюдений за величиной инфильтрации атмосферных осадков, испарением подземных вод, подземным стоком и другими приходными и расходными составляющими баланса подземных вод. Одновременно определяется и солевой баланс подземных вод за тот же период времени.

Для определения водного и солевого баланса подземных вод проводятся длительные наблюдения на специально оборудованных стационарных гидрогеологических станциях, что дает возможность хорошо познать изучаемый район в метеорологическом, гидрологическом и других отношениях.

Методы расчета баланса подземных вод изложены в специальной литературе [13, 20 и др.].

Знание баланса подземных вод, распространенных на той или иной территории, позволяет наиболее обоснованно решать вопросы обводненности карьеров, шахт и рудников, устанавливать производительность водозаборов, сооружаемых для водоснабжения, и решать другие гидрогеологические задачи.

Глава 4
СОСТАВ, СВОЙСТВА ПОДЗЕМНЫХ И РУДНИЧНЫХ ВОД И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА

§ 8. Физические свойства, химический и бактериальный состав подземных вод

Физические свойства. К физическим свойствам подземных вод относятся: температура, цвет, прозрачность вкус, запах и электропроводность.

Температура подземных вод изменяется в широких пределах. Как правило, в платформенных областях она увеличивается с глубиной. В высокогорных районах и в области распространения многолетней мерзлоты температура подземных вод низкая; в последнем случае высокоминерализованные воды местами имеют даже отрицательную температуру (—5° С и ниже). В районах молодой вулканической деятельности, а также в местах

выходов гейзеров (Камчатка, Исландия, Америка и др.) температура воды иногда превышает 120° С. Температура неглубоко залегающих подземных вод в средних широтах обычно изменяется в пределах 5—12° С и обусловливается местными климатическими (в основном) и гидрогеологическими условиями.

Цвет подземных вод зависит от имеющихся в них механических и коллоидных примесей. Желтоватый и буроватый цвет воде придают органические примеси; закисные соединения железа и сероводород дают зеленовато-голубую окраску. Обычно подземные воды бесцветны.

Прозрачность подземных вод зависит от содержания в них механических примесей и органических веществ. Прозрачность определяют при помощи цилиндра, который ставят на специальный шрифт, после чего через кран выпускают воду из цилиндра до тех пор, пока через оставшийся слой воды не станет ясно читаться шрифт. Высота оставшегося столба воды в сантиметрах и определяет степень прозрачности воды. Подземные воды обычно не содержат взвешенных частиц и имеют прозрачность выше 30 см.

Вкус подземной воде придают растворенные минеральные вещества, газы и примеси. Хлористый натрий придает воде соленый вкус, сульфаты магния — горький, соли железа — терпкий, органические вещества — сладковатый, гидрокарбонаты кальция и магния, а также свободная углекислота — приятный, освежающий. Вкус определяется в воде, подогретой до 20—30° С. Следует иметь в виду, что вкусовые ощущения субъективны.

Запаха подземные воды обычно не имеют. Однако иногда встречаются воды с запахом тухлых яиц (сероводород), «болотным», гнилостным, с запахом плесени и др. Питьевая вода не должна иметь запаха. Для точного определения запаха воду подогревают о до 50—60° С.

Благодаря содержанию в воде растворенных веществ — катионов и анионов, называемых *электролитами,* — подземным водам присуща *электропроводность*. Величина ее находится в сложной зависимости от концентрации растворенных веществ, их валентности и температуры. Величина электропроводности дает возможность судить об общей минерализации подземных вод. Электропроводность пресных вод колеблется в пределах $33 \cdot 10^{-5}$—$1{,}3 \cdot 10^{-3}$ Ом.

Химический состав подземных вод. В природных водах обнаружено в растворенном виде свыше 80 элементов периодической системы Менделеева. Следовательно, подземные воды являются природными растворами. Наиболее широко распространены в природных водах: Cl, S, C, Si, N, O, H, K, Na, Mg, Ca, Fe, Al; другие элементы встречаются реже и обычно в небольших количествах.

Определение химического состава подземных вод имеет большое значение. Руководствуясь существующими нормативами,

практическая оценка подземных вод (для водоснабжения, при строительстве, в горном деле, для орошения и других целей) может быть самой различной.

Свойства подземных вод определяются количеством и соотношением содержащихся в них в растворенном виде солей, присутствующих в воде в виде ионов — катионов и анионов. Наибольшее практическое значение имеют следующие: катионы H^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}; анионы OH^-, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, В молекулярном и коллоидном состоянии почти во всех водах содержатся органические вещества и коллоиды: $SiO_2 \cdot nH_2O$, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ и др. В молекулярном виде в подземных водах содержатся газы CO_2, CH_4, O_2, N_2, H_2S и др.

В состав природных вод входят почти все известные радиоактивные элементы, но практическое значение приобрели воды, содержащие уран, радий и радон. Радиоактивные подземные воды широко используются в бальнеологии и при поисках различных полезных ископаемых.

Реакция воды. Для правильного определения химического состава подземных вод нужно знать концентрацию водородных ионов, или так называемую *активную реакцию воды,* количественно выражаемую величиной pH, которая представляет собой десятичный логарифм концентрации ионов водорода (точнее, их активность), взятый с положительным знаком: $pH = \lg(H^+)$. Знать эту величину необходимо для решения ряда теоретических и практических вопросов (оценка агрессивности подземных вод, их коррозирующей способности и др.). При температуре 22° С в чистой воде содержание водородных и гидроксильных ионов равно (порознь) 10^{-7}, следовательно, для нейтральных вод $pH=7$, при $pH>7$ вода имеет щелочную реакцию, а при $pH<7$ — кислую. По величине pH воды делятся на весьма кислые ($pH<5$), кислые ($pH=5—<7$), нейтральные ($pH=7$), щелочные ($pH>7—9$) и высокощелочные ($pH>9$). Подземные воды имеют слабощелочную реакцию. Воды сульфидных и особенно колчеданных и каменноугольных месторождений обычно кислые и весьма кислые.

Определять концентрацию водородных ионов необходимо на месте взятия проб воды. Наиболее распространенный способ определения — колориметрический, основанный на свойстве индикаторов менять свою окраску в зависимости от концентрации водородных ионов.

В полевых условиях часто пользуются лакмусовой бумагой, которая при смачивании водой с нейтральной реакцией не меняет свой фиолетовый оттенок, в кислой воде приобретает красный цвет, в щелочной — синий. Можно пользоваться также метилоранжем. Одна-две капли его, добавленные к 50 см³ воды, придают воде окраску при нейтральной реакции оранжево-красную, при кислой — розовато-красную и при щелочной — желтую.

Бактериальный состав подземных вод. Не только в поверхностных водах, но и в подземных, особенно неглубоко залегающих грунтовых водах, имеющих сообщение с поверхностными, встречаются различные бактерии. Среди бактерий есть безвредные для здоровья человека и болезнетворные, являющиеся возбудителями дизентерии, брюшного тифа, холеры и других желудочных заболеваний. Показателем бактериальной загрязненности воды служит кишечная палочка коли. Палочка коли сама по себе безвредна, но ее присутствие указывает на наличие болезнетворных бактерий. Присутствие в питьевой воде аммиака и азотной кислоты указывает на фекальную загрязненность, что совершенно недопустимо.

Грунтовые воды часто содержат большое количество органических веществ животного и растительного происхождения, что служит показателем их загрязнения. Судить о количестве органических веществ в воде можно по количеству кислорода, расходуемого на их окисление. Хлор органического происхождения может попадать в грунтовые воды вместе со сточными водами и фекальными отбросами. Его наличие в воде требует тщательного изучения.

Минерализация подземных вод. Для оценки качества воды производят некоторое количество полных химических анализов, состав которых определяется целевым назначением воды. В массовом количестве производят сокращенные химические анализы с определением содержания трех анионов Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^- и трех катионов Ca^{2+}, Mg^{2+} и $Na^+ + K^+$. Определяются физические свойства, свободная и агрессивная углекислота, жесткость и общая минерализация.

Химический состав воды выражается в ионной форме количеством того или иного иона в миллиграммах на литр воды, а также в миллиграмм-эквивалентной и эквивалент-процентной формах. Для перевода в миллиграмм-эквивалентную форму надо количество ионов каждого элемента (в мг/л) разделить на его эквивалентную массу (атомная масса элемента, деленная на валентность). Так, 460 мг/л Na^+ соответствует $460 : 23 = 20$ молям Na, а 240 мг/л SO_4^{2-} составляет $240 : 48 = 5{,}0$ молей SO_4. Эквиваленты ионов выражают также в процентах от суммы анионов и катионов, принимая каждую сумму анионов и катионов за 50, реже за 100%.

По преобладающему аниону воды делятся на основные классы: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные и воды сложного состава. Каждый класс подразделяется по преобладающему катиону на подклассы: натриевые, кальциевые, магниевые или смешанные (натриево-кальциевые и т. п.).

Общая минерализация воды выражается суммой содержащихся в ней химических элементов, их соединений и газов. Она оценивается по сухому или плотному остатку, который

получается после выпаривания воды при температуре 105—110° С, и выражается в миллиграммах или граммах на литр.

По степени минерализации воды разделяются на:

пресные при сухом остатке				<1 г/л
слабосолоноватые				1—5 г/л
солоноватые	»	»	»	5—10 г/л
соленые	»	»	»	10—50 г/л
рассолы	»	»	»	>50 г/л

Жесткость воды — особое ее качество, обусловленное присутствием ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}. Жесткость подземных вод имеет большое значение при их оценке для практического использования. Жесткая вода плохо взмыливается, дает накипь в паровых котлах (что уменьшает их теплопроводность, приводит к перерасходу топлива и может вызвать аварию) и в посуде, вспенивается, в жесткой воде медленнее развариваются овощи, мясо, крупа и другие продукты.

Различают *общую жесткость,* обусловленную содержанием в воде всех солей кальция и магния: $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $CaSO_4$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $MgCl_2$; *карбонатную,* или *временную,* обусловленную наличием в воде бикарбонатов (солей HCO_3) кальция и магния, удаляемых при кипячении вследствие их разрушения и перехода в слаборастворимые карбонаты, выпадающие в осадок; *некарбонатную,* или *постоянную,* остающуюся в воде после удаления бикарбонатов, равную общей минус карбонатная.

В настоящее время в СССР согласно ГОСТ 2874—73 жесткость воды выражают в миллиграмм-эквивалентах Ca^{2+} и Mg^{2+} на 1 л воды; 1 мг·экв соответствует содержанию 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,16 мг/л Mg^{2+}.

Жесткость природных вод колеблется от нескольких миллиграмм-эквивалентов до десятков; в одном и том же водоисточнике жесткость неодинаковая в разные времена года. При жесткости менее 3 мг·экв воду называют мягкой, от 3 до 6 — умеренно жесткой, от 6 до 9 — жесткой и более 9 — очень жесткой.

Загрязненность воды органическими веществами. Наибольшая загрязненность органическими веществами наблюдается в грунтовых водах на участках, где с поверхности фильтруются воды, содержащие органические вещества растительного или животного происхождения: в заболоченных районах, на речных поймах, особенно в местах расположения животноводческих ферм, выгребных ям и т. п.

Органические вещества растительного происхождения придают воде желтоватый цвет. Такая вода обладает неприятным вкусом и запахом и, хотя вредного влияния на организм человека не оказывает, не может быть рекомендована для питьевых нужд.

Органические вещества животного происхождения почти всегда являются показателями возможного бактериального заражения подземных вод.

Для питания паровых котлов не могут быть использованы воды, богатые органическими веществами.

Понятие о предельно допустимых концентрациях веществ в воде (ПДК). ГОСТ 2874—73 определил допускаемые нормы для веществ, встречаемых в природной (поверхностной и подземной) воде, подаваемой потребителям в качестве питьевой. Допустимые концентрации в воде веществ, преимущественно встречаемых в природных водах или добавляемых в процессе обработки, а также появляющиеся в результате бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения, не должны превышать установленных ГОСТ 2874—73, т. е. предельно допустимых концентраций (ПДК).

При обнаружении в воде нескольких, указанных в ГОСТ веществ сумма концентраций, выраженная в долях от максимальных допустимых концентраций каждого вещества в отдельности, не должна быть более 1.

Понятие о биологическом потреблении водой кислорода ($БПК_5$). Наряду с предельно-допустимыми концентрациями химических веществ и содержания бактерий коли существенное значение имеет наличие в воде такого количества кислорода, при котором может происходить бактериальное самоочищение сточных вод, происходит процесс распада органических веществ в сбрасываемых сточных водах. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами предусматривают, что в воде водотоков и водоемов растворенного кислорода должно быть не менее 4 мг/л. Полная биологическая потребность воды водоемов и водотоков в кислороде при температуре 20° С в местах забора из них воды для водоснабжения не должна превышать 3 мг/л ($БПК_5 \leqslant 3$) и 6 мг/л — в местах купания.

§ 9. Нормы оценки качества воды для питьевого, хозяйственно-бытового и технического водоснабжения

Оценка качества воды для питьевых и хозяйственно-бытовых целей. Питьевая вода должна быть бесцветной, прозрачной, иметь температуру от 4 до 15° С, не иметь неприятного вкуса и запаха, не содержать болезнетворных бактерий, солей тяжелых металлов.

При выборе и оценке воды источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения пользуются государственными стандартами (ГОСТ 2874—74 и др.). Сухой остаток в воде не должен превышать 1000 мг/л. Сульфатов должно быть меньше 500 мг/л и хлоридов — до 350 мг/л. Возможность

повышения сухого остатка и предельное содержание сульфатов и хлоридов устанавливаются органами государственной санитарной инспекции в зависимости от местных условий. Общая жесткость воды должна быть не свыше 7 мг·экв и в исключительных случаях не более 14 мг·экв. При большей жесткости воду следует умягчать. В отдельных районах, например в сухих степях Северного Кавказа и Украины, из-за отсутствия лучшей воды используют воду с сухим остатком до 1500—2500 мг/л, хлора до 450—600 мг/л, сульфатов до 300—500 мг/л и с жесткостью 10—14 мг·экв.

Совершенно не допускается в питьевой воде присутствие аммиака и азотистой кислоты, указывающих на загрязнение воды продуктами разложения органических веществ.

Питьевая вода, подаваемая без очистки, может содержать (в мг/л): свинца не более 0,1, мышьяка — 0,05, фтора — 1,5, меди — 1, цинка — 5, железа — 0,3, без следов других ядовитых веществ.

В воде должны отсутствовать бактерии брюшного тифа, холеры, и дизентерии. Наличие кишечной палочки коли указывает на то, что в воду попали канализационные стоки, в составе которых могут быть и болезнетворные бактерии. Загрязненность воды оценивается величиной *коли-титра,* представляющей объем воды в кубических сантиметрах, в котором содержится одна кишечная палочка. Для водопроводов, подающих воду без очистки, допускается коли-титр 300 $см^3$ и более. В последнее время в СССР бактериальную чистоту воды принято оценивать коли-индексом, выражающим количество кишечных палочек в 1 л воды; по ГОСТ 2874—73 коли-индекс не должен превышать 3.

Оценка качества технической воды. Каждое производство (бумажное, консервное, кожевенное и др.) предъявляет свои требования к воде, с учетом которых и дается оценка ее пригодности. Обычно вода для промышленных целей должна быть прозрачной, бесцветной, без запаха и по возможности мягкой.

Вода, идущая на питание паровых котлов, оценивается накипеобразованием, вспениванием и коррозией стенок котла, вычисляемыми по формулам, приведенным в справочниках и специальной литературе. Для питания котлов вода должна иметь сухой остаток не более 300 мг/л, содержать хлора менее 200 мг/л, агрессивная кислота должна отсутствовать, жесткость быть менее 1,8 мг·экв для трудноочищаемых и 3 мг·экв — для легкоочищаемых котлов и удовлетворять некоторым другим требованиям. Особо высокие требования предъявляют к воде, идущей на питание современных паровых котлов, вырабатывающих пар высоких параметров.

Агрессивность воды по отношению к бетону и металлам. Подземные и поверхностные воды могут быть агрессивными по отношению к бетону и металлам. Различают углекислую, суль-

фатную, общекислотную, магнезиальную, кислородную агрессии и агрессивность выщелачивания.

Углекислая агрессия. Растворяющая способность воды по отношению к бетону определяется содержанием в ней избытка свободной углекислоты. Часть свободной углекислоты, которая вступает в реакцию с $CaCO_3$ и переводит ее в раствор, называется агрессивной углекислотой. Происходит растворение и выщелачивание из бетона составных частей, в той или иной мере растворимых в воде (главным образом извести $CaCO_3$, составляющей основную часть цемента).

Сульфатная агрессия. При наличии в воде повышенного количества сульфатов SO_4^{2-} (более 250 мг/л) происходит кристаллизация в бетоне новых соединений; образуется гипс с увеличением объема на 100% и сульфоалюминат кальция (бетонная бацилла) с увеличением объема в 2,5 раза, что и приводит к разрушению бетона.

Общекислотная агрессия обусловлена низким значением водородного показателя pH (менее 7 при временной жесткости менее 9 мг·экв и менее 6—7 при временной жесткости более 9 мг·экв), вследствие чего усиливается растворение извести.

Магнезиальная агрессия, как и сульфатная, ведет к разрушению бетона при проникновении в тело бетона воды с повышенным содержанием Mg^{2+} (более 750 мг/л).

Кислородная агрессия обусловливается наличием в воде кислорода и проявляется преимущественно по отношению к металлическим предметам (трубам, насосам, рельсам и т. п.), вызывая их ржавление (коррозию).

Агрессивность выщелачивания происходит за счет растворения и вымывания из бетона извести при малом содержании в воде HCO_3^-. При небольшой временной жесткости (менее 1,5 мг·экв) в воде содержится настолько мало HCO_3^-, что уже при содержании свободной углекислоты CO_2, равновесной с атмосферой (0,6 мг/л), часть ее будет агрессивной, разрушающе действующей на бетон.

Агрессивность подземных вод детально учитывается в соответствии с существующими требованиями (СНиП II=28—73. Нормы проектирования. Защита строительных конструкций от коррозии).

§ 10. Рудничные воды

В начале ведения горных работ рудничные воды по химическому составу и степени минерализации мало отличаются от природных подземных вод, развитых в районе и поступающих в горные выработки. На разрабатываемых верхних горизонтах, расположенных в зоне активного водообмена подземных вод, рудничные воды обычно карбонатные, реже сульфатные и по химическому составу и минерализации пригодны для питья.

По мере углубления горных выработок в зоне замедленного водообмена подземных вод минерализация их повышается и карбонатные воды сменяются сульфатными. Ниже, при ведении горных работ в зоне застойного режима подземных вод, рудничные воды имеют хлоридный состав. Так, в Донецком угольном бассейне карбонатная зона рудничных вод прослеживается до глубины 100—200 м, сульфатная — от 100—200 до 500—800 м, хлоридная — на глубине более 500—800 м. Однако имеются районы, где в отдельных горизонтах уже с глубины 50—100 м встречаются сильно минерализованные сульфатные воды.

Рудничные воды Кизеловского и Подмосковного угольных бассейнов, Днепровского буроугольного бассейна и района гдовских горючих сланцев, где полезное ископаемое залегает в зоне активного водообмена подземных вод, по своей минерализации карбонатные. Инфильтрующиеся атмосферные осадки здесь довольно быстро пополняют подземные воды этих месторождений.

На железорудных месторождениях наиболее развиты соленые сульфатные и хлоридные воды, степень минерализации которых также растет с глубиной выработок. В Криворожском бассейне все рудничные воды хлоридные и по составу близки к морской воде. Их минерализация изменяется с глубиной от 1 до 140 г/л; в карьерах горно-обогатительных комбинатов она равна 3—7 г/л.

Химический состав рудничных вод зависит также от минералогического состава разрабатываемого полезного ископаемого. Воды месторождений каменной соли всегда обогащены хлористым натрием. Рудничные воды полиметаллических месторождений содержат все присутствующие в них металлы.

Присутствие в горных породах пирита заметно влияет на увеличение содержания в рудничных водах сульфатов и повышение их минерализации.

С удлинением пути движения рудничных вод по выработкам их минерализация увеличивается за счет обогащения сернокислыми солями.

Вода, поступающая из старых выработанных пространств, обычно обладает значительной кислотностью и следует избегать их сброс в действующие выработки.

Рудничные воды, движущиеся по горным выработкам, кроме вод повышеной минерализации, как правило, сильно загрязнены бактериально за счет органических отбросов.

На химический состав и агрессивность рудничных вод оказывают влияние сезонные изменения количества поступающих поверхностных вод или вод из водоносных горизонтов, близко залегающих от поверхности земли. С увеличением водопритока в весенний период обычно уменьшается минерализация рудничных вод.

При откачке рудничных вод, обладающих кислотностью или содержащих взвешенные вещества, насосы быстро изнашиваются, поэтому принимаются меры по удлинению срока работы насосного оборудования.

Если кислотность явление временное или кислотная вода поступает с небольшого участка, то производят ее нейтрализацию набрасыванием негашеной извести в канавки с протекающей кислотной водой или добавлением известкового молока, спускаемого по трубам к месту нейтрализации. Но, в основном, для борьбы с коррозией кислыми рудничными водами применяют кислотоупорное оборудование водоотливной установки (насосы, трубопроводы и их арматура).

Очистка от взвешенных примесей достигается устройством по пути движения рудничной воды через каждые 200—300 м вертикальных грязеуловителей, в которых происходит осаждение минеральных примесей.

§ 11. Основные положения об охране природных вод

В нашей стране уделяют большое внимание проблеме охраны природы. В январе 1973 г. было опубликовано постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов». Верховный Совет СССР утвердил основы законодательств — земельного, водного, о недрах и др.

Поверхностные и подземные воды подлежат охране от истощения, загрязнения, засорения. Все организации, деятельность которых влияет на водный режим, обязаны проводить мероприятия по его улучшению, использовать водоисточники в соответствии с установленными нормами, сооружать очистные устройства для сточных вод. Запрещено вводить в эксплуатацию предприятия без сооружений по очистке сточных вод.

Эти мероприятия необходимы, так как запасы пресной воды, потребность в которой для водоснабжения, орошения и нужд промышленности повышается, нуждаются в очень строгой охране в отношении ее качества, а во многих районах — и количества.

Охране подземных вод посвящено специальное постановление Совета Министров СССР от 4 снтября 1959 г. «Об усилении государственного контроля по использованию подземных вод и мероприятий по их охране». Постановление направлено на экономию подземных вод, предусматривает государственный контроль за использованием подземных вод и охраной их от истощения и загрязнения.

Учитывая, что охрана природных вод и их рациональное использование приобретают все большее народнохозяйственное

значение, Верховный Совет СССР в 1970 г. утвердил «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик», а в последующие годы Верховные Советы отдельных республик утвердили «Водные Кодексы», обладающие юридической силой, определяющие условия рационального использования и охрану поверхностных и подземных вод, улучшения состояния водных объектов, предупреждения и ликвидации вредных воздействий вод.

Государство выделяет большие средства на осуществление мероприятий по охране и восстановлению природных ресурсов, в частности по защите и рациональному использованию природных (поверхностных и подземных) вод.

К основным источникам загрязнения и засорения водоемов относятся: 1) промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды, 2) отходы производства при разработке рудных и нерудных ископаемых, 3) воды шахт, рудников, нефтепромыслов, 4) отходы древесины при заготовке и сплаве лесных материалов, 5) сбросы водного и железнодорожного транспорта.

Для ликвидации вредного влияния промышленных сточных вод в СССР совершенствуется технологический процесс производства, строятся утилизационные установки для извлечения ценных веществ из сточных вод, осуществляется оборотное водоснабжение (повторное использование воды), строятся очистные сооружения, обеспечивающие возможность сброса очищенных сточных вод в водостоки и водоемы.

Хозяйственно-бытовые сточные воды городов подлежат тщательной очистке с последующим сбросом в реки, а лучше — с использованием на орошение пригородных земель, что дает большой экономический эффект.

На строительство очистных сооружений в СССР выделяются большие средства и число действующих очистных установок интенсивно возрастает.

Истощение подземных вод может наблюдаться, если водоотбор их превышает имеющиеся запасы, что приводит к понижению уровня подземных вод или к снижению производительности водозабора. Если поблизости нет дополнительного источника водоснабжения, следует разрабатывать мероприятия по искусственному пополнению истощаемых запасов подземных вод за счет поверхностных.

При разработке месторождений полезных ископаемых должны предусматриваться следующие мероприятия по охране природной среды:

— при бурении разведочных скважин не допускать неполной герметизации труб или ненадежного тампонажа скважин, ведущих к смешению минерализованных вод с пресными, используемыми в районе для водоснабжения;

— не допускать излишний отвод ценных земель для горных предприятий;

— максимально использовать пустую породу, извлекаемую из горных выработок, в качестве строительного материала или минеральных удобрений;

— отвалы из неиспользованных пустых пород создавать на неудобных землях, проводя рекультивацию с укладкой на поверхности отвалов ранее снятого почвенного слоя;

— для недопущения оседания поверхности земли над выработанными пластами в шахтах применять системы горных работ с закладкой;

— при открытых работах обеспечить обратную засыпку отработанных карьеров в нужном порядке;

— не допускать ухудшения условий водоснабжения подземными водами в прилегающем к горному предприятию районе, для чего либо не допускать сдренирования подземных вод горными выработками путем устройства вокруг последних противофильтрационного экрана (барража), либо построить систему централизованного водоснабжения;

— откачиваемые рудничные воды отводить без ущерба окружающей среды. Пресную и слабоминерализованную воду использовать для водоснабжения и орошения; соленую воду опреснять (проводить деминерализацию); вредные промстоки и рассолы захоронять в недра земли, где это по геологическим условиям возможно.

Статья 67 Конституции СССР гласит «Граждане СССР обязаны беречь природу, охранять ее богатства». Каждый работник горной промышленности обязан особенно строго, творчески соблюдать эту статью Основного закона нашего государства.

Глава 5

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Воды зоны аэрации — это воды, залегающие выше зоны насыщения горных пород. Кроме парообразной, физически связанной и капиллярной воды к ним относятся почвенные воды, приуроченные к почвенному слою, и верховодка.

Верховодкой называются подземные воды, залегающие выше уровня грунтовых вод на глубине нескольких метров от поверхности земли и имеющие ограниченное распространение, сезонное существование, небольшую мощность водосодержащих пород и небольшие запасы, используемые для водоснабжения мелкими потребителями. Она образуется в толще водопроницаемых пород на линзе слабо- или водонепроницаемых пород при просачивании атмосферных осадков, избыточных оросительных вод или при утечках хозяйственных вод на территории городов и промышленных предприятий. Верховодка,

как правило, образует временное скопление воды, которое исчезает в засушливое время года или с устранением искусственного источника питания.

§ 12. Основные типы грунтовых вод

По условиям залегания, минерализации, питания и режима наиболее характерными типами грунтовых вод на территории СССР являются воды: 1) речных долин; 2) ледниковых отложений; 3) степей, полупустынь и пустынь; 4) морских побережий и 5) горных областей.

Грунтовые воды речных долин широко используются для водоснабжения населенных пунктов. Речные долины обычно выполнены песчано-глинистыми аллювиальными отложениями, причем верхняя их часть чаще сложена мелкозернистым песком и суглинком, а нижняя — средне- и крупнозернистым песком, нередко с гравием и галькой. Наиболее водообильной является нижняя часть аллювиальных отложений, особенно на переуглубленных участках. Глубина залегания грунтовых вод аллювия изменяется от долей метра до 15 м и более. Воды аллювия большей частью пресные. Питание аллювиальных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, подземных вод коренных склонов и в паводок за счет поглощения речных вод. Наиболее широко аллювиальные воды эксплуатируются неглубокими колодцами и скважинами в сельских районах, реже грунтовыми водозаборами промышленных предприятий и городов.

Грунтовые воды ледниковых отложений. Воды широко распространены на территории европейской части СССР, главным образом в северной ее половине. Ледниковые отложения представлены неотсортированными валунными глинами и суглинками, песками и галечниками, к которым приурочены мощные потоки грунтовых вод, нередко используемые для водоснабжения даже крупных городов. Так, Москва долгое время (до конца XIX века) снабжалась водами ледниковых отложений, развитых в районе Мытищ. Грунтовые воды в ледниковых отложениях по условиям залегания крайне невыдержаны, пополняются за счет атмосферных осадков, обычно слабоминерализованы.

Грунтовые воды степей, полупустынь и пустынь. Эти воды весьма неоднородны по условиям залегания и минерализации. В степях условия образования грунтовых вод не особенно благоприятны вследствие наличия на поверхности земли суглинков, слабо пропускающих атмосферные осадки, и развития дренирующей овражной сети. Грунтовые воды степей обычно минерализованные.

Пустыни и полупустыни характеризуются малым количеством осадков (около 150—200 мм/год) и значительным испаре-

нием, превышающим количество осадков. Речная сеть здесь развита слабо, протекающие реки относятся к «транзитным», не получают питания по пути движения, даже теряют часть своей воды. Условия накопления грунтовых вод и использование их для водоснабжения крайне неблагоприятны. В последние годы в пустынных районах выявлены линзы пресных вод, залегающих на соленых. Грунтовые воды линз имеют минерализацию обычно до 1 г/л, иногда 2 г/л и широко используются для водоснабжения.

Грунтовые воды морских побережий. На пологих морских побережьях, сложенных дюнными песками, обычно залегают пресные грунтовые воды, сменяющиеся на некоторой глубине минерализованными морскими. Зеркало грунтовых вод на побережье в сглаженном виде повторяет дюнную поверхность. Питание грунтовых вод происходит за счет просачивания в пески атмосферных осадков и в меньшей мере за счет подтока вод со стороны прилегающих возвышенностей. Линзы пресных вод используются для водоснабжения.

Грунтовые воды горных областей. В предгорных и горных областях при повышенном количестве атмосферных осадков и вследствие трещиноватости и выветрелости горных пород часть атмосферных осадков инфильтруется, а ниже по склонам либо выходит на поверхность, образуя многочисленные источники, либо заполняет песчано-галечниковые отложения конусов выноса, формируя мощные потоки грунтовых вод. Эти слабоминерализованные воды предгорных наклонных равнин широко используются для целей водоснабжения и орошения.

§ 13. Воды артезианских бассейнов

Воды артезианских бассейнов в СССР в большом количестве используются для питьевого водоснабжения. Имеется более 100 артезианских бассейнов разного типа. Наиболее распространены бассейны платформенного типа, приуроченные к крупным тектоническим понижениям, содержащим несколько водоносных горизонтов, и бассейны межгорных впадин, образующихся в районе предгорий и в межгорных долинах.

Примерами бассейнов платформенного типа являются Московский и Днепровско-Донецкий артезианские бассейны.

Московский артезианский бассейн распространен на площади многих сотен тысяч квадратных километров. Подземные воды приурочены главным образом к отложениям каменноугольной системы, представленным преимущественно известняками и доломитами. Общая мощность каменноугольных отложений в центральной части бассейна колеблется в пределах 150—320 м, а в северо-восточной части бассейна она превышает 400 м. Насчитывается семь основных водоносных

горизонтов, содержащих пресные воды, используемые для водоснабжения многих населенных пунктов и промышленных предприятий Московской, Калининской, Смоленской, Калужской, Тульской и других областей. Известняки девона содержат минерализованную воду, местами имеющую лечебное значение. Пресные подземные воды с меньшими запасами приурочены также к юрским, меловым и четвертичным отложениям.

Напорные воды в девонских и каменноугольных известняках, а также в песчаных отложениях угленосной толщи вносят значительные осложнения при ведении горных работ в Подмосковном угольном бассейне.

Днепровско-Донецкий артезианский бассейн представляет собой мульду, корытообразный прогиб, вытянутый с северо-запада на юго-восток, и занимает площадь 300—350 тыс. км^2. Располагается этот бассейн в пределах части Белорусской ССР, на значительной площади Украинской ССР и в некоторых областях РСФСР. Водоносные горизонты и комплексы залегают в отложениях от докембрийского до третичного возраста.

В центральной части бассейна во всех отложениях ниже юрских содержатся воды с минерализацией, увеличивающейся с глубиной до 100 г/л и более. По склонам мульды пресная вода содержится в отложениях всех возрастов. Наибольшее практическое значение имеют некоторые маломинерализованные воды хорошего качества в отложениях юрского, мелового и третичного возраста. Глубина скважин изменяется от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Большое значение для водоснабжения имеют подземные воды в трещиноватой зоне верхнего мела.

Подземные воды Днепровско-Донецкого артезианского бассейна широко используются для водоснабжения многих селений и городов: Киева, Харькова, Чернигова, Бахмач, Лубны, Нежина, Миргорода, Полтавы и др.

Артезианские бассейны складских областей распространены на площади предгорных и межгорных равнин в Закавказье, Средней Азии и других районах. Эти бассейны имеют небольшие размеры. Напорность вод здесь обусловлена тем, что песчано-гравелистые образования предгорных шлейфов по мере удаления от гор перекрываются более глинистыми отложениями. Воды их широко используются для водоснабжения городов Баку, Алма-Ата и др.

§ 14. Трещинные и карстовые воды

Трещинные воды. Скальные горные породы (изверженные, метаморфические и осадочные) разбиты системой трещин различного происхождения, чаще в результате выветривания и тектонических процессов.

Под действием выветривания в скальных породах образуются трещины выветривания иногда различных размеров (до нескольких сантиметров в поперечнике). Глубина распространения этих трещин в изверженных и метаморфических породах, как правило, не превышает нескольких десятков метров.

Пластово-трещинные воды приурочены к трещинам скальных осадочных пород (песчаников, известняков и т. п.), залегающих между водоупорными породами, которыми обычно являются аргиллиты или глинистые сланцы. Пластово-трещинные воды широко распространены в Донецком, Кузнецком, Карагандинском и других угольных бассейнах.

Тектонические трещины служат путями циркуляции *жильных подземных вод* в значительных количествах. Сбросы нередко сопровождаются брекчиями трения ,заполняющими трещины, по которым подземные воды циркулируют наиболее свободно. Жильные воды могут по пути своего движения пересекать горизонты порово-пластовых и пластово-трещинных вод. Происходит перелив по тектоническим трещинам напорных подземных вод из одного водоносного горизонта в другой, из одного разобщенного блока в другой. Это имеет место на угольных месторождениях Донбасса благодаря наличию многочисленных тектонических нарушений.

Карстовые воды. Под *карстом* понимают совокупность явлений, связанных с деятельностью подземных вод и выражающихся в выщелачивании горных пород (известняков, доломитов, гипса, соли и др.) и образовании в них пустот (каверн, каналов, пещер и т. п.), а также своеобразных форм рельефа.

В СССР имеется много районов, где карстовые явления хорошо выражены. В пределах Русской равнины карст известен в Калужской, Тульской и Горьковской областях вдоль правобережья р. Оки, в Ленинградской и Новгородской областях, в районе Самарской Луки, на Уфимском плато, на водоразделе между реками Северной Двиной и Онегой, на Урале, в Крыму, на Кавказе, в Средней Азии, в Сибири по р. Ангаре и в других местах.

Известняки, доломиты и гипсы в большинстве случаев водопроницаемы только по трещинам, с которыми и связано в основном развитие карста (рис. 8).

Вблизи склонов, особенно крутых, тектонические трещины бывают расширены в результате выветривания и других причин, что приводит к увеличению поступления воды в породы и ускоряет фильтрацию, а следовательно, и растворение пород. Поэтому вблизи склонов развитие карстовых пустот идет особенно интенсивно.

В районах распространения карста рельеф имеет своеобразное строение. На поверхности образуются воронки, слепые овраги, поноры, котловины, полья, а внутри закарстованного мас-

сива пород возникают пустоты различного размера и формы — подземные каналы, пещеры, галереи, русла, по которым и циркулируют подземные воды.

В карстовых районах поглощение атмосферных осадков происходит очень быстро через трещины и воронки. Если карстовые воды полностью заполняют все сечение подземного канала, то в нем создается гидростатическое давление, благодаря которому вода из канала по трещинам может подняться вверх.

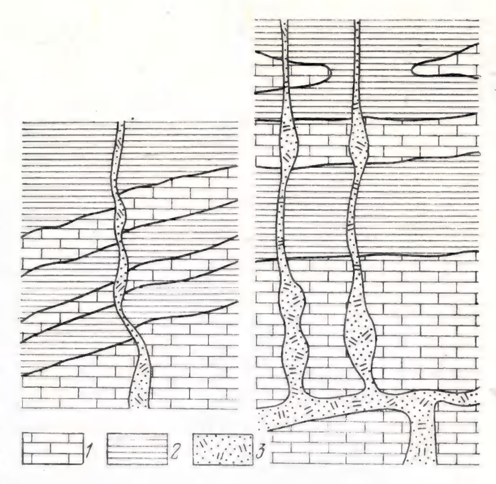


Рис. 8. Тектонические трещины, измененные карстовыми процессами:
1 — известняк; *2* — сланцы; *3* — песчано-глинистый материал в тектонических трещинах

В закарстованных породах наблюдается как бы два этаж карстовых вод: верхний в виде разрозненных потоков, приуроченных к наиболее разработанным путям, и нижний, где заполнены все пустоты и трещины пород, и подземные воды образуют сплошной поток, движущийся в горизонтальном направлении, часто образуя на склонах постоянно действующие источники, режим которых зависит в основном от климатических факторов.

Проведение выработок в закарстованных и трещиноватых породах связано с большими трудностями. На месторождениях бокситов, залегающих в закарстованных и тектонически нарушенных известняках, притоки воды в горные выработки некоторых шахт достигали 7000—8000 м^3/ч. Иногда гидрогеологические условия месторождений в карстовых районах не позволяют вести разработку полезных ископаемых ниже уровня подземных вод. Например, разработка флюсовых известняков и доломитов на Щелковских карьерах под Москвой до последнего времени велась только выше уровня подземных вод.

В практике строительства и эксплуатации карьеров известны случаи прорыва карстовых вод даже в тех случаях, когда выработками не вскрывались непосредственно закарстованные породы. Примером может служить прорыв напорных вод из девонских известняков на Богословском угольном карьере в 1945 г.

Поэтому при ведении горных работ как подземным, так и открытым способом в районах распространения трещиноватых, особенно закарстованных пород, необходим детальный анализ

гидрогеологических условий месторождения в целях учета их при проектировании горных работ и разработке полезных ископаемых.

§ 15. Подземные воды в районах многолетней мерзлоты

Многолетняя, или вечная, мерзлота — толща горных пород в земной коре с отрицательной температурой, устойчивой в течение длительного времени независимо от физического состояния воды, заключенной в горных породах. Площадь распространения многолетнемерзлых пород в СССР составляет 49,7% всей территории страны.

Изучение многолетней мерзлоты и условий строительства в районах ее распространения имеет большое народнохозяйственное значение. Здесь выявлены многочисленные месторождения самых разнообразных полезных ископаемых: угля, железных руд, алмазов, олова, вольфрама, никеля, золота, нефти, газа, что вызвало рост в этих районах горнодобывающей промышленности и других отраслей народного хозяйства и связанного с ними жилищного и дорожного строительства.

Природные условия районов распространения многолетней мерзлоты определяют специальные требования к проектированию, строительству и эксплуатации сооружений, несоблюдение которых приводит к деформации сооружений или их разрушению. Мощность многолетнемерзлых пород колеблется от нескольких метров до 600—800 м, а в бассейне р. Вилюй превышает 1000 м. Многолетнемерзлые породы нельзя рассматривать как сплошной экран, отделяющий поверхностные воды от подземных; распространение их прерывистое и зависит от многих природных факторов: климатических, геологических, гидрогеологических, орографических, тектонических и др.

Верхний слой земной коры в районах распространения многолетней мерзлоты в весенне-летний период оттаивает, а осенью и зимой замерзает. Этот слой называют *деятельным слоем*. Мощность деятельного слоя в разных местах колеблется от долей метра до 6—8 м. В тонкодисперсных грунтах — суглинках и глинах — глубина сезонного промерзания и оттаивания редко превышает 2—3 м.

Опыт строительства в районах распространения вечномерзлых грунтов свидетельствует, что недоучет режима деятельного слоя приводит к самым печальным последствиям: дороги, аэродромы, здания и другие сооружения деформируются и даже разрушаются. Поэтому установление мощности деятельного слоя и его температурного режима имеет существенное значение и является одной из основных задач при проведении инженерных изысканий.

Подземные воды многолетней мерзлоты, по Н. И. Толсти-

хину, подразделяются на надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды. Эти воды залегают над зоной мерзлых пород и подразделяются на воды деятельного слоя и воды многолетних надмерзлотных таликов.

Надмерзлотные воды деятельного слоя залегают на толще многолетней мерзлоты, которая является для них водоупорным ложем. Характерная особенность этих вод — сезонная смена жидкой и твердой фаз. На севере длительность существования жидкой фазы определяется двумя-тремя месяцами летне-осеннего периода; по направлению к югу существование жидкой фазы увеличивается до шести месяцев и более. Питание вод деятельного слоя происходит за счет атмосферных осадков и частично за счет поверхностных водотоков.

В химическом отношении надмерзлотные воды сезонного слоя характеризуются малой минерализацией, значительным содержанием органических веществ и наличием гумусовых кислот. Температура их низкая и редко превышает 5° С.

Надмерзлотные воды многолетних таликов существуют благодаря теплому влиянию поверхностных вод. Залегают подобные талики под озерами и руслами рек. По долинам рек Сибири, несущим тепло, имеются сквозные талики, через которые осуществляется связь надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных вод. Отличаются эти воды постоянством качества и количества. Минерализация их невысокая, жесткость 0,8—1,2 мг·экв; они широко распространены в бассейнах рек Лены и Колымы. Дебит каптажных сооружений (скважин, галерей) нередко достигает 47 л/с. Используются данные воды на питьевое и хозяйственно-техническое водоснабжение.

Межмерзлотные воды. К межмерзлотным водам, по Н. И. Толстихину, относят как жидкие воды, циркулирующие в массиве вечномерзлых пород, так и твердую фазу — ископаемые льды и временно законсервированные многолетней мерзлотой мерзлые водоносные горизонты, некогда функционировавшие. Основным фактором, предохраняющим жидкие межмерзлотные воды от замерзания, являются их динамичность, а иногда также высокая минерализация. По характеру вмещающих горных пород выделяются пластовые, карстовые и трещинно-жильные межмерзлотные воды.

При проходке горных выработок в случае пересечения межмерзлотных вод притоки с течением времени могут увеличиваться, что обусловливается увеличением водоносных путей вследствие оттаивания льда в трещинах, мерзлых водоносных горизонтов и т. п.

Подмерзлотные воды. Подмерзлотными водами называются все подземные воды, залегающие ниже слоя многолетней мерзлоты. Эти воды обладают напором, нередко в несколько сотен метров. По характеру залегания и условиям

циркуляции подмерзлотные воды аналогичны подземным водам внемерзлотных районов. Питание они получают за счет атмосферных осадков, поверхностных вод и вод вышележащих водоносных горизонтов.

По гидрогеологическим условиям среди подмерзлотных вод Н. И. Толстихин выделяет следующие типы: аллювиальные, порово-пластовые, трещинно-пластовые, трещинные или жильные, и трещинно-карстовые.

Аллювиальные подмерзлотные воды питаются за счет просачивания атмосферных вод по таликам в аллювии, подтока подземных вод из коренных пород и за счет конденсации. Подмерзлотные воды аллювиальных отложений имеют температуру, близкую к нулю. Лишь в тех случаях, когда в питании аллювиальных вод принимают участие воды коренных пород с более высокой температурой, подмерзлотные воды аллювия имеют аномально высокую температуру.

Химический состав подмерзлотных вод аллювия характеризуется меньшим содержанием органических веществ.

Подмерзлотные воды аллювиальных отложений при разработке многих россыпных месторождений полезных ископаемых играют отрицательную роль; на борьбу с ними приходится выделять много материальных средств.

Порово-пластовые подмерзлотные воды залегают в осадочных породах и обладают напором. Во многих местах выявлены артезианские бассейны подмерзлотных вод.

Трещинно-пластовые подмерзлотные воды характерны для пород древнего возраста (палеозой — юра). Циркулируют они по трещинам в пластах песчаников, известняков, конгломератов и других пород, перекрываемых водоупорами. В частности, на многих месторождениях каменного угля, распространенных в зоне многолетней мерзлоты (Букачачинском, Буреинском бассейнах и др.), подмерзлотные воды этого типа приурочены к трещиноватым песчаникам, конгломератам, изредка к алевролитам и пластам угля. Породы глинистого состава являются водоупорными и разделяют подземные воды на ряд водоносных горизонтов. Воды обладают напором от десятков до сотен метров.

Трещинные и трещинно-карстовые подмерзлотные воды связаны с тектоническими нарушениями. Эти воды отмечены во многих местах Забайкалья, в бассейнах Алдана, на Лене и в других местах. Режим данных вод еще более непостоянный. Известняки на площади распространения многолетней мерзлоты являются наиболее водообильными породами, с ними связаны выходы крупных источников, где образуются мощные наледи.

В районах распространения многолетней мерзлоты имеются нисходящие источники с малым дебитом, связанные с надмерзлотными и редко — с межмерзлотными водами, и восходящие

источники, питающиеся межмерзлотными и подмерзлотными водами с постоянным дебитом до 5 л/с. При наличии в районе трещинно-карстовых вод дебит источников повышается до тысяч литров в секунду.

Явления, связанные с вечной мерзлотой. В области распространения вечной мерзлоты наблюдаются наледи, гидролакколиты, термокарст и т. п.

Наледь — ледяное тело, образовавшееся на поверхности земли или на льду реки в результате замерзания подземной или речной воды, излившейся на поверхность земли или ледяного покрова реки. Различают грунтовые, или наземные, речные и смешанные наледи.

Грунтовые наледи образуются при замерзании выходящих на поверхность подземных вод.

Речные наледи развиваются в результате увеличения напора воды в замерзающей реке в местах резкого сужения живого сечения потока или заполнения русла льдом. Речные наледи деформируют мосты, трубы, водозаборные сооружения, а также значительно осложняют движение транспорта зимними дорогами по льду рек.

Гидролакколиты — бугры вспучивания, возникают вследствие образования льда в толще промерзших пород (рис. 9),

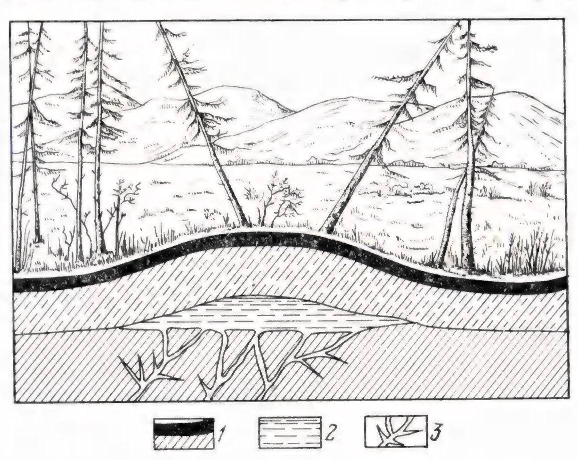


Рис. 9. Гидролакколит (по М. Я. Чернышеву):
1 — породы деятельного слоя; *2* — лед; *3* — водоносные трещины

т. е. при образовании *подземных наледей.* Различают гидролакколиты однолетние (сезонные) и многолетние. Гидролакколиты имеют округлую и куполовидную форму разной высоты. Бывают также пологие вздутия и валообразные поднятия. Наибольшее значение в образовании гидролакколитов имеют подозерные талики, при промерзании которых образуются гидро-

лакколиты высотой от нескольких метров до 70—80 м. В поперечнике крупные гидролакколиты достигают иногда 200—250 м.

Грунтовые наледи и бугры пучения являются надежным поисковым признаком на подземные воды в районах распространения многолетнемерзлых пород.

Термокарст — замкнутые воронко-, котловино- или блюдцеобразные понижения, образующиеся вследствие вытаивания погребенного льда или оттаивания (деградации) вечномерзлого грунта с последующим его уплотнением. Термокарст во многих районах распространения вечной мерзлоты занимает до 30% площади и более. Термокарстовые понижения обычно заполнены водой, образуя озера, болота площадью в сотни квадратных метров, а иногда и километров.

Глава 6
ОСНОВЫ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 16. Основные законы движения подземных вод

Динамика подземных вод изучает закономерности движения подземных вод в горных породах под влиянием естественных природных или искусственных факторов.

Движение воды в горных породах происходит при разности уровней ее в двух сечениях (рис. 10). Разность уровней $h = H_1 - H_2$ создает напор, под действием которого вода от сечения I движется в направлении сечения II.

Скорость подземного потока v зависит от напора и длины пути фильтрации l. С увеличением напора она возрастает, а с увеличением пути фильтрации уменьшается.

Гидравлический уклон (гидравлический градиент) выражает падение напора воды на единицу пути фильтрации и вычисляется как отношение напора к длине пути:

$$I = \frac{h}{l}. \qquad (4)$$

Движение подземных вод зависит от характера и размера пор, пустот, трещин, по которым движется вода, а также от величины гидравлического уклона.

Линейный закон фильтрации (закон Дарси). Движение подземных вод в пористых породах, например в песке, галечнике, супеси, суглинке, имеет *ламинарный* (параллельно струйчатый) характер, т. е. без разрывов, с плавным изменением скорости, и подчиняется основному закону фильтрации — закону Дарси. Ламинарный характер движения обычно наблюдается и в трещиноватых породах при небольшой

ширине трещин, а в ряде случаев и в кавернозных известняках.

Закон Дарси выражается формулой:

$$Q = kF\frac{h}{l}, \tag{5}$$

где Q — количество фильтрующейся воды (расход) в единицу времени, м³/сут; k — коэффициент фильтрации, м/сут; F — площадь поперечного сечения потока, м²; h — напор или разность уровней в двух рассматриваемых сечениях, м; l — длина пути фильтрации, м.

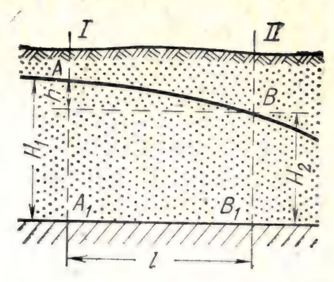


Рис. 10. Разрез участка подземного потока:

AB — уровень подземных вод; A_1B_1 — водоупорное ложе; h — напор; l — длина пути фильтрации между сечениями I и II

Заменив $\frac{h}{l}$ через I, получим:

$$Q = kFI. \tag{6}$$

Если обе части равенства разделить на F и учесть при этом, что

$$\frac{Q}{F} = v,$$

получим

$$v = kI, \tag{7}$$

где v — скорость фильтрации.

Уравнение (7) показывает, что *при ламинарном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в первой степени.*

Скорость фильтрации v представляет собой кажущуюся скорость. С этой скоростью вода двигалась бы в том случае, если бы она занимала все сечение F. В действительности при фильтрации в горных породах вода течет только через часть сечения, равную площади пор и трещин, другая же часть сечения занята зернами породы.

Действительную скорость движения воды U можно получить, разделив расход Q на действительную площадь фильтрующего сечения, т. е. на площадь пор Fn (где n — пористость грунта, выраженная в долях единицы):

$$U = \frac{Q}{Fn}. \tag{8}$$

Заменив значение $\frac{Q}{F}$ через v, получим

$$U = \frac{v}{n} \text{ и } v = Un. \tag{9}$$

Так как пористость n всегда меньше единицы (для песка 0,35—0,45), то скорость фильтрации v всегда меньше действительной скорости движения воды в порах и трещинах.

Формула А. А. Краснопольского. Движение подземных вод в грубообломочных и сильнотрещиноватых скальных породах с крупными пустотами большой протяженности имеет турбулентный (вихревой) характер. Такое движение А. А. Краснопольский отождествил с движением воды в трубах и каналах и для вычисления скорости фильтрации предложил формулу:

$$v = k_к \sqrt{I} = k_к I^{1/2}, \qquad (10)$$

где $k_к$ — коэффициент фильтрации породы в формуле Краснопольского; I — гидравлический уклон.

Расход потока, по А. А. Краснопольскому

$$Q = k_к F \sqrt{I}. \qquad (11)$$

Из уравнения (10) следует, что *при турбулентном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в степени* $\frac{1}{2}$.

В грубообломочных рыхлых породах и в крупнотрещиноватых скальных породах с трещинами, частично заполненными рыхлым материалом, возможен смешанный характер движения, математическое выражение которого разными авторами дается различно.

Современная теория движения подземных вод разработана почти исключительно на основе закона Дарси. Это объясняется тем, что, по данным Г. Н. Каменского — основоположника инженерной гидрогеологии, линейный закон фильтрации справедлив при действительной скорости движения подземных вод U до 1000 м/сут или при скорости фильтрации v до 400 м/сут, а эти значения скорости значительно превышают скорость естественного потока подземных вод в песчаных и обломочных породах и могут встретиться только в карстовых пустотах и крупных трещинах.

Коэффициент фильтрации, характеризующий водопроницаемость горных пород и входящий в формулы (5) и (11), может определяться следующими тремя методами:

1) *опытными откачками в полевых условиях.* Это наиболее точный метод определения коэффициента фильтрации водосодержащих пород. В ненасыщенных породах вместо откачек применяют опытные наливы в шурф или в скважину;

2) *фильтрационными приборами в лабораторных условиях.* Это недорогой, но и менее точный способ определения коэффициента фильтрации, позволяющий определить водопроницаемость небольших образцов рыхлых грунтов (высотой 10—15 см), обычно не сохранивших естественной структуры;

3) *по эмпирическим формулам, по гранулометрическому составу и пористости.* Это самый дешевый и простой, но и наименее точный способ определения коэффициента фильтрации песчаных пород. Его следует широко применять при разведке месторождений полезных ископаемых, источников водоснабжения, участков гидротехнического строительства и при гидрогеологической съемке, когда водопроницаемость песков, залегающих на большой площади, опытными откачками определить невозможно.

§ 17. Движение подземных вод в естественных условиях

Подземные воды могут двигаться в виде безнапорного потока (т. е. со свободным уровнем, на поверхности которого давление равно атмосферному) и в виде напорного (т. е. когда водоносный пласт полностью заполнен водой и пьезометрический уровень устанавливается выше его кровли).

Безнапорный поток. Рассмотрим движение грунтовых вод в горизонтальном пласте, т. е. в водоносном пласте, подстилаемом горизонтально залегающим водоупором (рис. 11).

Расход грунтового потока шириной B согласно уравнению (6) равен:

$$Q = kFI = kBh_{\text{ср}}I, \qquad (12)$$

где $h_{\text{ср}}$ — средняя мощность грунтового потока.

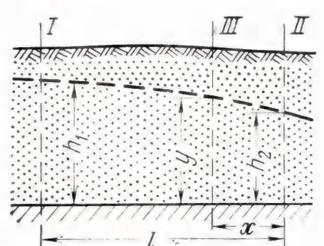


Рис. 11. Схема грунтового потока в горизонтальном пласте

Рис. 12. Схема грунтовых вод в наклонном пласте

Подставив в уравнение (12) значения

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2} \text{ и } I = \frac{h_1 - h_2}{l},$$

получим уравнение расхода грунтового потока:

$$Q = kB\,\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}. \qquad (13)$$

При ширине потока $B = 1$ получим выражение единичного расхода грунтового потока:

$$q = k\frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}. \quad (14)$$

Для построения уровня грунтовых вод между сечениями *I* и *II* (см. рис. 11) или, как часто говорят, для построения кривой депрессии находим мощность грунтового потока (ординату кривой депрессии) y в сечении *III*, отстоящем от сечения *II* на произвольном расстоянии x.

Напишем сначала уравнение единичного расхода q для участка между сечениями *III* и *II*:

$$q = k\frac{y^2 - h_2^2}{2x}, \quad (15)$$

откуда

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{2qx}{k}}. \quad (16)$$

Подставляя в формулу (16) значение q из выражения (15), получим формулу для вычисления мощности грунтового потока в промежуточном сечении, в которую не входит расход потока:

$$y = \sqrt{h_2^2 + \frac{x}{l}\left(h_1^2 - h_2^2\right)}. \quad (17)$$

Расход грунтовых вод в наклонном пласте (рис. 12) вычисляют по приближенной формуле Г. Н. Каменского:

$$Q = kB\frac{h_1 + h_2}{2}\cdot\frac{H_1 - H_2}{l}, \quad (18)$$

где H_1 и H_2 — отметки уровня грунтовых вод абсолютные или относительные, отсчитываемые от произвольной линии сравнения OO.

Напорный поток. Расход напорных вод при ширине потока B независимо от направления уклона верхнего и нижнего водоупоров (рис. 13) равен:

$$Q = kB\frac{M_1 + M_2}{2}\cdot\frac{H_1 - H_2}{l}, \quad (19)$$

где M_1 и M_2 — значения мощности водоносного пласта, заменяемые при угле наклона пласта менее 10° расстоянием между кровлей и почвой пласта, измеряемым по вертикали в скважине.

§ 18. Движение подземных вод к водосборным сооружениям

Теория движения подземных вод разработана применительно к определению притока воды к вертикальным и горизонтальным водосборам. К вертикальным водосборам относятся

буровые скважины, колодцы, шурфы и вертикальные стволы шахт; к горизонтальным — осушительные канавы, горизонтальные дренажи, каптажные галереи, штреки и др.

Вертикальные водосборы любого назначения, вскрывающие грунтовые и безнапорные межпластовые воды, называются *грунтовыми колодцами*, а водосборы, вскрывающие напорные воды, — *артезианскими колодцами*.

Рис. 13. Схема напорного потока

Грунтовые и артезианские колодцы могут быть совершенными и несовершенными.

Совершенными называются колодцы, доведенные до водоупора и имеющие проницаемые стенки в пределах всей толщи пласта от подошвы его до динамического уровня воды в колодце.

Несовершенными называются колодцы, не доведенные до водоупора или имеющие проницаемые стенки в пределах части водоносной толщи.

I. Грунтовый совершенный колодец. При откачке воды из грунтового колодца уровень воды в нем понизится на величину S. Вокруг колодца уровень притекающей воды также понизится и примет форму депрессионной воронки (рис. 14). Расстояние, на котором сказывается понижение уровня воды в колодце, называется *радиусом влияния колодца.*

Количество притекающей к колодцу воды (расход колодца, дебит колодца) в любом сечении на расстоянии x от оси колодца согласно линейному закону фильтрации равно $Q = FkI$. Площадь поперечного сечения потока F, движущегося к колодцу, равна площади боковой поверхности цилиндра радиусом x и высотой y, т. е.

$$F = 2\pi xy,$$

Произведя математические преобразования, получим следующую формулу притока воды в колодец:

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}, \quad (20)$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут; H — мощность водоносного горизонта, м; h — высота пониженного уровня воды в колодце от водоупора, м; R и r — соответственно радиус влияния и радиус колодца, м.

Заменив в данном выражении натуральные логарифмы десятичными (переходной коэффициент от натуральных логарифмов к десятичным равен 2,3) и подставив вместо π его числовое значение, получим формулу притока воды в колодец в более удобном для пользования виде:

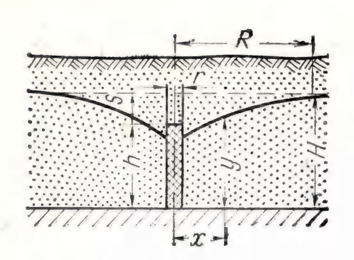


Рис. 14. Схема грунтового совершенного колодца

$$Q = \frac{1,36k\,(H^2 - h^2)}{\lg R - \lg r}. \qquad (21)$$

Заменив h через $H—S$, получим:

$$Q = \frac{1,36k\,(2H - S)\,S}{\lg R - \lg r}. \qquad (22)$$

Нередко требуется определить положение кривой депрессии на разных расстояниях x от колодца в пределах зоны влияния откачки. Для этого вычисляют величину ординаты кривой депрессии по формуле:

$$y = \sqrt{h^2 + \frac{Q}{1,36k}(\lg x - \lg r)}\ , \qquad (23)$$

получаемой из уравнения (21) после замены R на x и H на y.

Из формул (21) и (22) видно, что приток воды в колодец будет тем больше, чем больше коэффициент фильтрации k, мощность пласта H, понижение уровня S, радиус колодца r и чем меньше радиус влияния R.

Значения радиуса влияния R и радиуса колодца r оказывают незначительное влияние на величину притока, так как они входят в формулу под знаком логарифма, а логарифмы изменяются гораздо медленнее, чем числа. Например, при изменении значений R и r в десять раз логарифмы их, а следовательно, и притоки в колодец изменяются всего в 1—2 раза. Опытные данные показывают, что на практике отмечается несколько большее влияние радиуса колодца r на величину притока в колодец Q, чем указано выше.

Величина радиуса влияния зависит от продолжительности откачки воды из колодца. Предельной величиной радиуса влияния является расстояние от колодца до контура области питания. Контурами области питания служат область выхода водоносного пласта на поверхность земли, река, озеро, крупное обводненное тектоническое нарушение, контуры распространения вышележащего более водообильного горизонта и другие участки пополнения рассматриваемого водоносного горизонта.

Значение радиуса влияния лучше принимать по имеющимся опытным или эксплуатационным данным, полученным в том же районе или районе, аналогичном по гидрогеологическим условиям, но это не всегда возможно.

Приближенно при непродолжительных откачках радиус влияния определяют по формуле И. П. Кусакина:

$$R = 2S\sqrt{Hk}\,, \qquad (24)$$

формула Зихарта $R = 10 \cdot S \cdot \sqrt{K}$

где S — понижение уровня воды в колодце, м; H — мощность водоносного слоя, м; k — коэффициент фильтрации, м/сут.

Неустановившийся радиус влияния и увеличение его во времени в водоносном горизонте, не получающем питание в пределах депрессионной воронки, приближенно можно вычислить по формуле:

$$R = 1{,}5\sqrt{at}\,, \tag{25}$$

где a — коэффициент уровнепроводности безнапорного пласта; $a = \frac{kh}{\mu}$; t — продолжительность откачки, сутки; k — коэффициент фильтрации, м/сут; h — мощность водоносного пласта, м; μ — водоотдача горных пород. = активная пористость

Между дебитом и понижением существует параболическая зависимость следующего вида:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{(2H - S_2)\,S_2}{(2H - S_1)\,S_1} \quad \text{или} \quad Q_2 = Q_1\,\frac{(2H - S_2)\,S_2}{(2H - S_1)\,S_1}\,. \tag{26}$$

Параболическая зависимость показывает, что приток в грунтовый колодец возрастает в несколько меньшей степени, чем понижение.

Артезианский совершенный колодец. При откачке воды из артезианского колодца вода будет притекать в него со всех сторон в пределах пласта мощностью M (рис. 15). Уровень воды в колодце понизится на величину S. Это указывает на то, что у колодца напор в пласте снижается и напорный уровень устанавливается на высоте h от водоупорного ложа. Соответственно происходит снижение напора в пласте в пределах радиуса влияния. Количество притекающей воды в колодец по закону Дарси.

$$Q = FkI,$$

где F — площадь поперечного сечения потока.

На расстоянии x от оси колодца

$$F = 2\pi x M.$$

Приток воды в артезианский колодец

$$Q = \frac{2{,}73kM\,(H - h)}{\lg R - \lg r} = \frac{2{,}73kMS}{\lg R - \lg r}\,, \tag{27}$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут; M — мощность напорного водоносного пласта, м; S — понижение уровня воды в колодце, м; R — радиус влияния, м; r — радиус колодца, м.

Радиус влияния артезианского колодца следует брать по данным наблюдений. Приближенно его можно определить по формуле (24), выведенной И. П. Кусакиным для группы грунтовых колодцев, принимая за H высоту столба воды в колодце от водоупора до пьезометрического уровня.

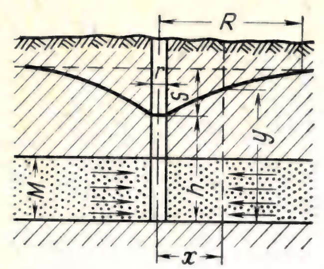


Рис. 15. Схема притока воды в артезианский колодец

Неустановившийся радиус влияния артезианского колодца приближенно определяется, как и для грунтового, по формуле (25), в которой a выражает коэффициент пьезопроводности, определяемый по уравнению:

$$a = \frac{km}{\mu^*},$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут; m — мощность пласта, м; μ^* — коэффициент, характеризующий водоотдачу из напорного пласта, которая зависит от упругих свойств воды и водоносных пород.

$$\mu^* = \gamma\beta^* m,$$

где γ — масса единицы объема воды; β^* — коэффициент упругоемкости пласта; m — мощность пласта.

Ординаты кривой депрессии на разных расстояниях x от оси колодца определяются по формуле:

$$y = h + \frac{Q}{2,73kM}(\lg x - \lg r). \tag{28}$$

Формула (27) показывает, что приток воды в артезианский колодец, как и в грунтовый, зависит от величин k, M, S, r и R.

Дебит колодца при понижении уровня воды в нем на 1 м называют удельным дебитом и обозначают буквой q. Величину удельного дебита можно получить делением дебита колодца (27) на понижение S:

$$q = \frac{Q}{S} = \frac{2,73kM}{\lg R - \lg r}. \tag{29}$$

Удельный дебит колодца, как и коэффициент фильтрации, позволяет вычислить количество воды, которое может поступать в колодец. Этим показателем часто пользуются при гидрогеологических расчетах притока воды в скважину, ствол шахты и т. п.

Из формулы (27) следует, что между дебитом Q и понижением S существует прямолинейная зависимость (рис. 16, линия *I*):

$$\frac{Q_2}{S_2} = \frac{Q_1}{S_1}$$

$$Q_2 = \frac{Q_1}{S_1} S_2 \quad \text{или} \quad Q_2 = qS_2. \tag{30}$$

Практикой установлено, что прямолинейная зависимость между Q и S имеет место при небольших значениях S. При больших значениях S зависимость между этими величинами вы-

ражается кривой, отражающей параболическую или степенную зависимость (см. рис. 16, линия *II*).

В сильно и равномерно трещиноватых породах, для которых характерно турбулентное движение подземных вод, исходя из уравнения (11), дебит грунтового и артезианского колодцев пропорционален корню квадратному из величины понижения S и увеличивается значительно медленнее скорости понижения уровня в них:

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{S_2}{S_1}}. \qquad (31)$$

Рис. 16. Кривые зависимости дебита скважины от понижения столба воды в ней

Несовершенные колодцы. Несовершенные грунтовые колодцы в зависимости от наличия и положения фильтра могут быть (рис. 17) с проницаемыми стенками и глухим дном, с проницаемыми стенками и дном, с непроницаемыми стенками и проницаемым дном.

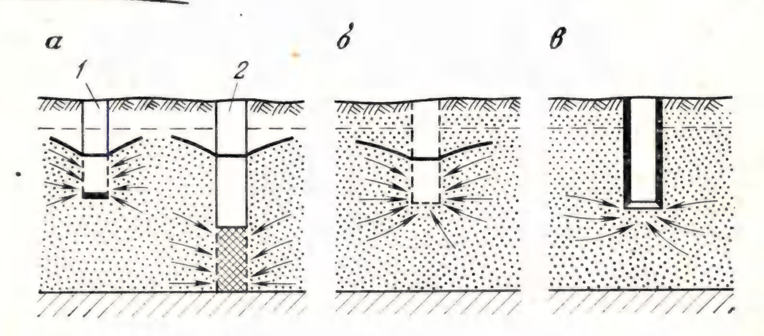


Рис. 17. Типы несовершенных грунтовых колодцев:
а — колодец с проницаемыми стенками и глухим дном; *1* — с незатопленным фильтром; *2* — с затопленным фильтром; *б* — колодец с проницаемыми стенками и дном; *в* — колодец с непроницаемыми стенками и проницаемым дном

В несовершенных артезианских колодцах фильтр может примыкать к верхнему или нижнему водоупору или быть установленным в средней части водоносного слоя.

Приток в несовершенный колодец меньше, чем в совершенный, потому что струйкам воды, движущимся к несовершенному колодцу, приходится преодолевать большее сопротивление при входе в колодец и совершать больший путь, чем при движении к совершенному колодцу. Величина притока зависит от длины и расположения фильтра в колодце.

Приток воды в несовершенный артезианский или грунтовый колодец с проницаемыми стенками и глухим дном равен при-

току в эквивалентный по дебиту совершенный колодец, имеющий диаметр $d_р$, величину которого подсчитывают по формуле:

$$d_р = \alpha d, \tag{32}$$

где $d_р$ — расчетный (условный) диаметр совершенного колодца, м; α — поправочный коэффициент на несовершенство колодца; d — диаметр несовершенного колодца, м.

Коэффициент несовершенства колодца (скважины) α определяют по графику (рис. 18), составленному В. М. Шестаковым.

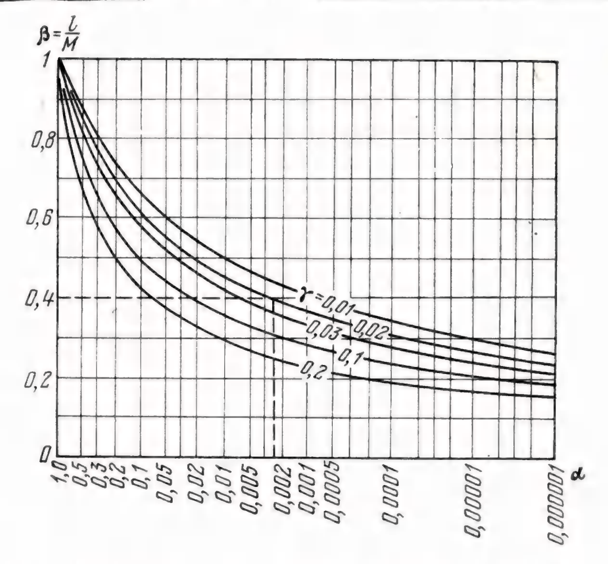


Рис. 18. График для расчета коэффициента несовершенства скважины

По вертикальной оси графика отложена величина

$$\beta = \frac{l}{M},$$

где l — длина фильтра; M — мощность напорного водоносного горизонта (рис. 19).

По горизонтальной оси графика отложены значения α для пяти случаев значений

$$\gamma = \frac{d}{l}.$$

В грунтовом колодце для расчета коэффициента α за мощность водоносного горизонта M можно приближенно принять превышение динамического уровня над водоупором, а за величину l — работающую часть фильтра колодца (рис. 20).

После определения по графику (см. рис. 18) величины α и подсчета по формуле (32) значения расчетного диаметра совершенного колодца d_p приток воды в артезианский или грунтовый колодец определяется соответственно по формулам (27) или (21) и (22) подстановкой вместо r значения

$$r_p = \frac{d_p}{2}.$$

Приток воды из пласта большой мощности в несовершенный артезианский колодец, только вскрывший водоносный пласт,

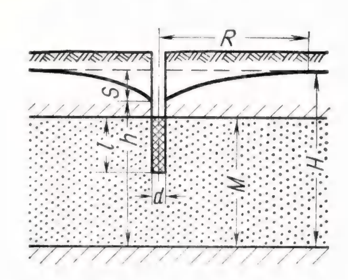


Рис. 19. Несовершенный артезианский колодец.

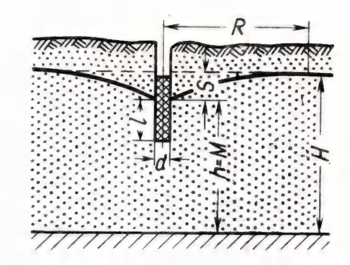


Рис. 20. Несовершенный грунтовый колодец

или в грунтовый колодец с проницаемым дном (см. рис. 17) равен:

при полусферической форме дна

$$Q = \pi d S k, \qquad (33)$$

при плоской форме дна

$$Q = 2 d S k, \qquad (34)$$

где d — диаметр несовершенного колодца, м; S — понижение уровня воды в колодце, м; k — коэффициент фильтрации, м/сут.

Приток воды в колодец с фильтром, расположенным посреди водоносного слоя, и в колодец с проницаемым дном из пласта ограниченной мощности более точно можно вычислить по формулам, приведенным в специальной литературе [12, 17, 20 и др.].

Горизонтальная канава, доведенная до водоупора. Горизонтальные водосборы разделяются на *совершенные*, доведенные до основания водоносного пласта, и *несовершенные* (подвешенные), прорезающие водоносный слой не на всю мощность.

В несовершенные водосборы вода поступает не только через стенки, но и через дно. Поступающая вода движется к канаве в слоях грунта, расположенных выше и ниже ее дна, причем ха-

рактер и направление движения струек зависят от глубины залегания водоупорного ложа.

Простейшим видом горизонтального водосбора является дренажная канава, или галерея, доведенная до горизонтально залегающего водонепроницаемого ложа (рис. 21).

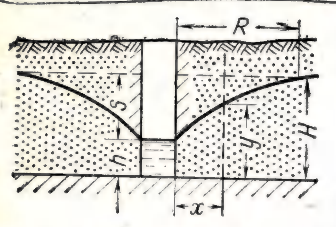


Рис. 21. Горизонтальная канава, доведенная до водоупора

Единичный расход канавы, т. е. приток в канаву длиной 1 м с одной стороны,

$$q = kh_{ср}I. \quad (35)$$

Для участка между канавой и границей ее влияния средняя мощность водоносного слоя:

$$h_{ср} = \frac{H + h}{2}$$

и средняя величина гидравлического уклона:

$$I = \frac{H - h}{l}.$$

Подставив в уравнение (35) значения $h_{ср}$ и I, получим формулу для вычисления единичного потока воды в канаву с одной стороны при длине ее 1 м:

$$q = k\frac{H^2 - h^2}{2R}. \quad (36)$$

Приток в канаву длиной B с одной стороны:

$$Q = kB\frac{H^2 - h^2}{2R} \quad (37)$$

или

$$Q = kB\frac{H + h}{2}I. \quad (38)$$

Для получения притока в канаву с обеих сторон надо величину Q удвоить.

Величина среднего уклона депрессионной кривой зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются водопроницаемость грунта и продолжительность водопонижения. Чем больше водопроницаемость, тем на большее расстояние влияет канава и тем меньше уклон депрессионной кривой. По опытным данным уклон I депрессионной кривой в пределах всей зоны влияния R равен:

для наиболее проницаемых грунтов	0,003—0,006
для песков	0,006—0,020
для песчаных грунтов	0,02—0,05
для суглинистых грунтов	0,05—0,10
для глинистых грунтов	0,10—0,15
для тяжелых глин	0,15—0,20

Для построения кривой депрессии у канавы вычисляют ординаты депрессионной кривой на разных расстояниях x от стенки канавы по формуле:

$$y = \sqrt{h^2 + \frac{2qx}{k}}\ . \qquad (39)$$

Заменив q выражением из формулы (36) и подставив в формулу (38), получим:

$$y = \sqrt{h^2 + \frac{x}{R}(H^2 - h^2)}\ . \qquad (40)$$

Уравнение притока воды в горизонтальные водосборы, не доведенные до водоупора, приведено в § 39. дале — стр. 129

§ 19. Понятие о взаимодействии водопонижающих скважин и их расчет

При заложении групповой установки водопонижающих скважин при осушении месторождений скважины располагают на таком расстоянии, чтобы они влияли друг на друга.

Рассмотрим взаимодействие двух скважин, расположенных на расстоянии $2a$ (рис. 22). Если скважины расположены на расстоянии, меньшем радиуса влияния ($2a<R$), при откачке воды из скв. 1 и понижении в ней уровня на величину S_1, в скв. 2 произойдет снижение уровня на величину t_2. При понижении уровня воды в скв. 2 на величину S_2 в скв. 1 уровень воды снизится на величину t_1.

При одновременной откачке воды из обеих скважин депрессионные воронки наложатся одна на другую, уровень воды между скважинами снизится еще больше и кривая депрессий займет положение, указанное на рис. 22 пунктиром. Чем больше будут сближены скважины, тем большее понижение будет достигнуто. При этом дебит каждой скважины Q' будет меньше дебита одиночной скважины Q.

Снижение дебита скважин оценивается величиной интерференции

$$\delta = \frac{Q'}{Q}\ .$$

Значения интерференции, по Л. С. Лейбензону, в зависимости от отношения расстояния между скважинами и радиусом влияния будут:

$2a$	$2R$	R	$0{,}5R$	$0{,}2R$	$0{,}02R$	$0{,}002R$
δ	1,00	0,97	0,90	0,81	0,64	0,53

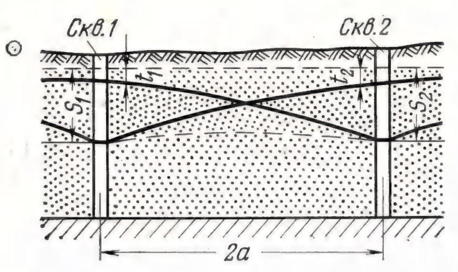


Рис. 22. Схема взаимодействия двух скважин

Из приведенных данных следует, что при расположении скважин на расстоянии $2a>2R$ взаимодействия не будет, и уровень воды посредине между скважинами не будет снижаться.

При расположении скважин на расстоянии, равном половине радиуса влияния ($2a=0,5R$), снижение дебита при взаимодействии будет сравнительно невелико (до 10%), поэтому при бурении группы скважин, предназначенных для водоснабжения, для уменьшения длины трубопровода целесообразно располагать скважины на расстоянии, равном половине радиуса влияния.

При осушении, когда основное значение имеет положение кривой депрессии между скважинами, их располагают значительно ближе, чем при водоснабжении ($2a<0,1R$), стремясь максимально снизить уровень подземных вод на участке осушения.

В условиях взаимодействия скважин, расположенных в один длинный ряд, дебит каждой совершенной скважины можно определить по формулам А. В. Романова:

при дренаже напорных вод

$$Q' = \frac{2,73kMS}{\lg \frac{a}{\pi r} + \frac{1,36R}{2a}}; \tag{41}$$

при дренаже безнапорного потока

$$Q' = \frac{1,36k(2H-S)S}{\lg \frac{a}{\pi r} + \frac{1,36R}{2a}}, \tag{42}$$

где a — половина расстояния между скважинами в ряду, м.

При заложении группы водопонижающих скважин в напорном водоносном горизонте по кругу (рис. 23, по углам правильного многоугольника) или по незначительно вытянутому контуру различной формы (при отношении длины к ширине менее 2,5) дебит каждой из артезианских скважин, по В. М. Щелкачеву:

$$Q' = \frac{2,73kMS}{\lg \frac{R_0^n}{n r_0^{n-1} r}}, \tag{43}$$

дебит каждого из грунтовых колодцев в тех же условиях:

$$Q' = \frac{1,36k\,(2H - S)\,S}{\lg \dfrac{R_0^n}{n r_0^{n-1}\, r}}, \qquad (44)$$

где n — число скважин; R_0 — радиус влияния, отсчитываемый от центра установки до границы области питания, м; r_0 — радиус круга или приведенный радиус круга, к которому приравнен реальный контур группы скважин, м.

Величину приведенного радиуса при расположении скважин по периметру не очень вытянутого контура площадью F можно вычислить по формуле:

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}. \qquad (45)$$

Радиус влияния установки R_0 равен приведенному радиусу плюс радиус влияния скважин R. Величину R лучше брать по практическим данным; если их нет, то можно вычислить по формуле (24) И. П. Кусакина.

Чем больше заложено скважин на участке осушения, тем больше снизится уровень воды в произвольно взятой точке A (рис. 24), причем общее снижение уровня в точке A приближенно будет равно сумме снижений уровня от действия каждой скважины.

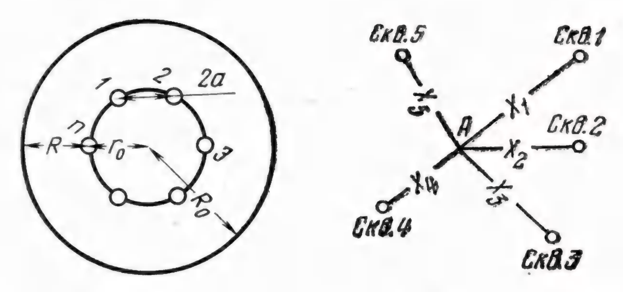


Рис. 23. Схема расположения скважин по окружности при круговом контуре питания.

Рис. 24. Схема расположения группы взаимодействующих скважин

При заложении группы водопонижающих скважин в напорном водоносном горизонте понижение в любой точке A осушенного участка вычисляют по формуле:

$$S_A = \frac{nQ'}{2,73kM}\left[\lg R_0 - \frac{1}{n}\lg\,(x_1 \cdot x_2 \cdot \;.\;.\;.\;.\; \cdot x_n)\right], \qquad (46)$$

где Q' — дебит каждой скважины, м³/сут;

x_1, x_2, ..., x_n — расстояния от точки A до скв. 1, 2, ..., n, м.

В центре установки сниженный напор приближенно равен:

$$S_ц = \frac{nQ'}{2,73kM} (\lg R_0 - \lg r_0). \quad (47)$$

Для установки водопонижающих скважин в безнапорных водах величину сниженного уровня грунтовых вод в точке A в пределах зоны влияния вычисляют по формуле:

$$H_A = \sqrt{H^2 - \frac{nQ'}{1,36k}\left[\lg R_0 - \frac{1}{n}\lg (x_1 \cdot x_2 \cdot \ . \ . \ . \ . \cdot x_n)\right]}. \quad (48)$$

В центре установки высота сниженного уровня приближенно равна:

$$H_ц = \sqrt{H^2 - \frac{nQ'}{1,36k} (\lg R_0 - \lg r_0)}. \quad (49)$$

Вычисленный по формулам (43) и (44) дебит каждой скважины выражает количество воды, которое притекает к скважинам со всех сторон. При расчете водопонижающей установки надо подобрать количество скважин и длину фильтров такими, чтобы скважины могли принять дебит, поступающий к групповой установке, т. е. чтобы водопропускная способность скважин была не меньше вычисленного дебита.

Водопропускная (водозахватная) способность скважины определяется с учетом допустимой критической скорости фильтрационного потока у скважины по формуле:

$$f = Fv_{кр}, \quad (50)$$

$f_i \geqslant Q_i$

где F — площадь фильтрующих стенок скважины, м²; $v_{кр}$ — критическая скорость фильтрации у скважины, м/сут.

По формуле С. К. Абрамова водопропускная способность скважины:

$$f = 120\pi r l \sqrt[3]{k}, \quad (51)$$

а удельная водопропускная способность (1 м фильтрующей части скважины):

$$\varphi = 120\pi r \sqrt[3]{k}, \quad (52)$$

где r — наружный радиус фильтра или фильтрующей обсыпки (если последняя есть), м; l — длина фильтрующей части скважины или рабочей части фильтра, м; k — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут.

Более надежно водопропускная способность скважины устанавливается продолжительной откачкой.

§ 20. Уравнения для определения гидрогеологических параметров по данным откачек

При продолжительности откачек в хорошо проницаемых породах 1—2 сут и более радиус зоны, где режим движения подземных вод приобретает квазистационарный характер (т. е. кривые депрессии перемещаются параллельно), колеблется от 20 до 100 м в безнапорных водах и от 200 до 1500 м в напорных водах, поэтому расчеты коэффициента фильтрации можно вести по формулам установившегося движения, вытекающим из уравнений (20)—(34).

По данным откачки из грунтового совершенного колодца коэффициент фильтрации вычисляют по формулам:

для центральной скважины

$$k = 0{,}73Q \frac{\lg R - \lg r}{(2H - S)\,S}\,, \tag{53}$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0{,}73Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{(2H - S_1 - S_2)\,(S_1 - S_2)}\,. \tag{54}$$

При откачке из артезианской совершенной скважины получим:

для центральной скважины

$$k = 0{,}366Q \frac{\lg R - \lg r}{MS}\,, \tag{55}$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0{,}366Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{M\,(S_1 - S_2)}\,, \tag{56}$$

где Q — дебит скважины при откачке, м³/сут; R — радиус влияния при откачке, м; r — радиус центральной скважины, м; H — мощность безнапорного водоносного горизонта, м; M — мощность напорного водоносного слоя, м; S — понижение уровня в центральной скважине, м; S_1 и S_2 — понижение уровня воды в первой и второй наблюдательных скважинах, м; x_1 и x_2 — расстояние наблюдательных скважин от центральной, м.

Радиус влияния при недлительной откачке можно приближенно определять по формуле (24) или воспользоваться следующими ориентировочными значениями при понижении на 2—3 м:

супесчаные породы	10—20 м
тонкозернистые пески	20—50 м
мелкозернистые пески	50—75 м
среднезернистые пески	75—100 м
крупнозернистые пески	100—200 м
гравелистые пески	150—200 м
галечник	200—250 м

24 ф-ла Кусакина

ф-ла 24 $R = 2 \cdot S \cdot \sqrt{H \cdot k}$ (ф-ла Кусакина)

Значения коэффициента фильтрации песчаных пород наиболее точно получаются по формулам (54) и (56) по замерам понижений в наблюдательных скважинах, когда исключается влияние скачка (разрыва уровней воды) у центральной скважины. Коэффициент фильтрации скальных пород наиболее правильно определять по формулам (53) и (55), так как фильтр в них обычно не устанавливается и скачок мал, а в наблюдательных скважинах вследствие неравномерной трещиноватости можно и не получить достоверных значений понижения и плавной воронки депрессии.

Для вычисления коэффициента фильтрации по данным откачек из несовершенной скважины при значениях $\frac{l}{M} > 0{,}1$ (что обычно имеет место) можно применять формулы (53)—(56) с поправками Н. Н. Веригина на несовершенство скважин.

При откачке из грунтового колодца получим:

для центральной скважины

$$k = 0{,}73Q\frac{\left(\lg\frac{R}{r} + 0{,}217\xi\right)}{(2H - S)\,S}, \tag{57}$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0{,}73Q\,\frac{\lg\frac{x_2}{x_1} + 0{,}217\,(\xi_1 - \xi_2)}{(2H - S_1 - S_2)\,(S_1 - S_2)}. \tag{58}$$

При откачке из артезианской скважины:

для центральной скважины

$$k = 0{,}366Q\frac{\lg\frac{R}{r} + 0{,}217\xi}{MS}, \tag{59}$$

для двух наблюдательных скважин

$$k = 0{,}366Q\,\frac{\lg\frac{x_2}{x_1} - 0{,}217\,(\xi_1 - \xi_2)}{M\,(S_1 - S_2)}. \tag{60}$$

В формулах (57)—(60) ξ, ξ_1 и ξ_2 — величины фильтрационных сопротивлений, соответственно учитывающие несовершенство центральной, первой и второй наблюдательных скважин.

Величины ξ, ξ_1 и ξ_2 находят по табл. 2 в зависимости от отношения длины рабочей части фильтра центральной скважины l к мощности водоносного горизонта M и мощности водоносного горизонта M к величине r, x_1 или x_2.

Таблица 2

Значения величин фильтрационных сопротивлений скважин

l/M	M/r									
	0,5	1	3	10	30	100	200	500	1000	2000
0,1	0,00391	0,122	2,04	10,4	24,3	42,8	53,8	69,5	79,6	90,9
0,3	0,00297	0,0908	1,29	4,79	9,2	14,5	17,7	21,8	24,9	28,2
0,5	0,00165	0,0494	0,656	2,26	4,21	6,5	7,86	9,64	11,0	12,4
0,7	0,000546	0,0167	0,237	0,879	1,69	2,67	3,24	4,01	4,58	5,19
0,9	0,000048	0,0015	0,0251	0,128	0,3	0,528	0,664	0,846	0,983	1,12

В случае откачки из грунтового колодца при определении величины ξ мощность водоносного горизонта M следует принимать равной $H - \frac{S}{2}$, а длину незатопленного фильтра центральной скважины l, равной общей длине фильтра минус половина длины осушенной части фильтра.

Значения ξ, приведенные в табл. 2, справедливы при расположении рабочей части фильтра у кровли или подошвы пласта. При установке фильтра в средней части пласта полученную величину следует уменьшать, как указано у Ф. М. Бочевера (1963 г.), на 1,5 при $l/M = 0{,}3$ и на 0,7 при $l/M = 0{,}5$.

Несовершенство наблюдательных скважин, если они расположены на расстояниях, примерно равных или превышающих мощность водоносного горизонта, очень незначительно и его можно не учитывать.

Радиус влияния по данным опытной кустовой откачки при установившемся режиме движения подземных вод можно приближенно вычислить по формулам, вытекающим из уравнений движения воды к скважинам (22) и (27).

Для безнапорных вод

$$\lg R = \frac{S_1\,(2H - S_1)\lg x_2 - S_2\,(2H - S_2)\lg x_1}{(S_1 - S_2)\,(2H - S_1 - S_2)}, \tag{61}$$

для напорных вод

$$\lg R = \frac{S_1 \lg x_2 - S_2 \lg x_1}{S_1 - S_2}, \tag{62}$$

где S_1 и S_2 — понижения уровня в первой и второй скважинах, м; x_1 и x_2 — расстояния от центральной до первой и второй наблюдательных скважин, м; H — мощность водоносного горизонта, м.

При длительной откачке радиус влияния увеличивается во времени и находится по формуле (25), учитывающей неустановившееся движение подземных вод. $R = 1{,}5\sqrt{at}$ (стр 59)

Расчет коэффициента фильтрации при откачках с неустановившимся режимом движения производится по сложным формулам, приводимым в специальных руководствах [2, 20, 24].

далее — со стр. 119 обводненность МПИ и способы осушения.

РАЗДЕЛ II

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Глава 7
МЕХАНИКА ГРУНТОВ

§ 21. Общие сведения о грунтах

Как указывалось во введении, инженерная геология является отраслью геологии, изучающей верхнюю часть земной коры (состав пород, их свойства, физико-геологические процессы и др.) в связи с инженерной деятельностью человека, т. е. строительством различных зданий, гидротехнических сооружений, шоссейных и железных дорог, горных предприятий и пр.

Земная кора состоит из разнообразных горных пород. В строительстве вместо термина «горная порода» более широко употребляется термин «грунт». Под этим термином понимаются почвы и горные породы, слагающие поверхностные горизонты литосферы, развивающиеся и изменяющиеся под влиянием процессов выветривания и используемые как основания различных сооружений (зданий, мостов, дорог, гидротехнических сооружений и пр.), как материал для возведения инженерных сооружений (плотин, дамб, насыпей и пр.) или же как объект и среда инженерного воздействия при строительстве (выемок, каналов, карьеров, тоннелей, горных выработок и т. п.).

Раздел инженерной геологии, в котором изучаются свойства почв и горных пород как грунтов, называется *общим грунтоведением,* а раздел, изучающий закономерности распределения напряжений в толще грунтов, их деформации, условий прочности и устойчивости под действием внешних сил и собственного веса, — *механикой грунтов*; последняя широко пользуется законами теоретической и строительной механики. Поскольку поверхностная часть литосферы сложена преимущественно рыхлыми породами (крупнообломочными, мелкообломочными, пылеватыми и глинистыми), то именно они и являются объектом изучения механики грунтов, в отличие от механики горных пород, которая изучает свойства и деформации скальных пород при проведении подземных горных выработок. В горных техникумах и вузах курс «Механика горных пород» изучается отдельно от инженерной геологии и поэтому в данном учебнике не рассматривается.

Основными задачами общего грунтоведения (В. А. Приклонский, 1955 г.) являются: изучение условий происхожде-

ния, залегания и вещественного состава грунтов (минерального, гранулометрического и химического); изучение их физических, механических и коллоидно-химических свойств; прогнозирование изменения свойств грунтов (в первую очередь их прочности) во времени в ходе строительства и эксплуатации сооружений; разработка методов искусственного улучшения свойств грунтов, поскольку их природные свойства не всегда удовлетворяют запросам различных видов строительства и тем самым не могут обеспечить устойчивость и долговечность возводимых сооружений. Общее грунтоведение опирается на широкий круг геологических (минералогию, петрографию, динамическую и историческую геологию, геохимию и др.) и негеологических дисциплин (физику, коллоидную химию, строительную механику и др.), используя основные их положения.

В инженерной геологии осадочные горные породы, изучаемые как грунты и преимущественно распространенные на поверхности земли, рассматриваются как многофазные системы, состоящие из твердых частиц (твердая фаза), порового раствора (жидкая фаза), газов (газовая фаза) и микроорганизмов. В каждом конкретном случае в зависимости от разнообразных природных особенностей и искусственных условий соотношение между различными фазами и их взаимодействие друг с другом могут быть самыми различными, чем и обусловливается чрезвычайное разнообразие физико-механических свойств пород (грунтов), являющихся объектом изучения в инженерной геологии.

По происхождению различают три группы горных пород: магматические, метаморфические и осадочные.

Магматические породы обычно очень прочные, для них характерно наличие жестких кристаллизационных связей между частицами, под воздействием веса сооружений они заметно не деформируются, в воде практически нерастворимы. Однако эти породы всегда разбиты трещинами, что несколько снижает их физико-механические свойства, особенно при оценке этих пород при карьерной разработке полезных ископаемых и для гидротехнического строительства. Как основание различных сооружений невыветрелые или слабо выветрелые магматические породы очень устойчивы.

Метаморфические и скальные осадочные породы обладают менее удовлетворительными физико-механическими свойствами по сравнению с магматическими, но при оценке их как оснований сооружений они более надежны. Только наличие сланцеватости, а также нередко значительная трещиноватость и раздробленность, обусловленные тектоническими процессами и выветриванием, заставляют более критически оценивать эти породы при воздействии на них различных сооружений, особенно гидротехнических и в откосах карьеров.

Осадочные породы преобладают в верхней зоне литосферы.

Они подразделяются на три генетические группы: морские, лагунные и континентальные. Внутри этих групп по ряду признаков и по совокупности физико-механических свойств выделяют многочисленные типы, подтипы, разности и т. п. Окончательной общепризнанной классификации осадочных горных пород с целью их инженерно-строительной оценки еще нет.

Важной особенностью обломочных осадочных горных пород является то, что они состоят из твердых минеральных частиц и пор, которые заполнены поровым раствором и воздухом. Поровый раствор представляет собой воду, присутствующую в порах грунтов, в которой всегда содержатся в электролитически-диссоциированном виде катионы и анионы. Следовательно, осадочные горные рыхлые породы состоят из твердой, жидкой и газообразной фаз, т. е. представляют собой в общем случае трехфазную систему, а учитывая наличие в поровой воде растворенных веществ — многофазную систему. В данных природных условиях количество твердых частиц (твердой фазы) в грунтах неизменно; соотношение же между воздухом и поровым раствором (а также количество и состав растворенных в поровой воде веществ) во времени может изменяться, соответственно чему изменяются и свойства пород, особенно глинистых.

Всем горным породам в каждый данный момент присуще равновесное состояние между составляющими их твердыми частицами, воздухом и поровым раствором. Под влиянием различных природных и искусственных факторов состояние равновесия между фазами грунтов нарушается, соответственно изменяются в ту или иную сторону и свойства пород. Поэтому одной из задач грунтоведения является предвидение возможных изменений свойств грунтов под влиянием естественных и искусственных факторов в их сложном взаимодействии между собой и с возводимыми сооружениями и рекомендациями профилактических мероприятий, осуществление которых предотвратит деформации сооружений.

Диагенез глинистых осадков имеет иной (от раздельнозернистых) характер и в существенной мере зависит от состава осадков и среды. Вообще уплотнение и упрочнение глинистых осадков нельзя рассматривать только как простой механический процесс. В глинистых осадках с момента их образования протекают сложные диагенетические процессы, обусловленные взаимодействием различных факторов — механического уплотнения, химических, физико-химических и биохимических процессов, в совокупности обусловливающие литификацию осадка и превращение его в породу. Эти процессы изменяют первоначальный состав осадка и способствуют появлению новых образований. В результате диагенетических процессов прочность глинистых пород увеличивается.

Породы, находясь в верхней зоне литосферы, подвергаются воздействию многочисленных факторов. Важнейшим из этих

факторов является *выветривание* — совокупность процессов физического и химического разрушения горных пород, изменяющих их вещественный состав и физико-механические свойства. Образующаяся выветрелая зона мощностью от нескольких метров до 10—15 м и более при строительстве разных сооружений, особенно ответственных (плотин, высотных зданий, мостов и т. п.), должна быть выявлена и изучена.

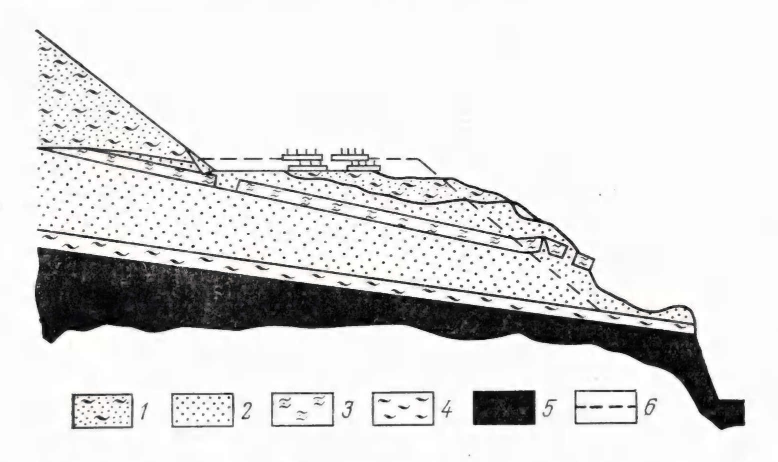


Рис. 25. Геологический разрез участка оползня на Байдаковском углеразрезе:
1 — суглинки; *2* — песок; *3* — каолин; *4* — глина; *5* — уголь; *6* — положение рабочего уступа до оползня

При инженерно-геологической оценке изучаемых участков существенное значение имеют *условия залегания* горных пород — форма залегания, мощность и протяженность пластов, соотношение пород друг с другом, тектоническая нарушенность и т. п.

При строительстве дорожных выемок, отрывке котлованов, разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом и в других случаях залегание пород в откосах может быть таким, как показано на рис. 25. Наличие в песках, слагающих вскрышной уступ на Байдаковском углеразрезе, прослоя каолинов явилось причиной крупного оползня, в результате чего горизонтальная площадка вскрышного уступа, по которой происходило передвижение транспортно-отвального моста и других тяжелых механизмов, на протяжении 42 м сместилась вниз по прослою каолина.

При инженерно-геологической оценке горных пород необходимо учитывать также текстурные и структурные их особенности.

Под *текстурой* в инженерной геологии понимается совокупность признаков, характеризующих неоднородность породы в

пласте. Она обычно определяется расположением и соотношением механических, минералогических и структурных элементов в пласте породы. Текстура обусловливает анизотропность свойств породы в разных направлениях. Различают следующие виды текстур: слоистую, сланцеватую, плитчатую, листоватую, микрослоистую, косо- и диагональнослоистую, линзовидную, гнездовую, оолитовую и др. Текстура пород создается при их образовании (слоистые, листовые, линзовидные, косо- и диагональнослоистые и др.) либо в процессе диагенеза (плитчатая, сланцеватая, оолитовая и др.). Наибольшее значение текстура имеет при инженерно-геологической оценке осадочных пород, так как текстурные особенности этих пород могут обусловить явления оползания откосов искусственных выработок (выемок, карьеров и т. п.), неравномерную сжимаемость пород в основании сооружений, проявление механической суффозии и другие нежелательные процессы, отрицательно влияющие на сооружения.

Под *структурой* горных пород в инженерной геологии понимают их строение, определяемое следующими признаками: размером, формой и характером поверхности слагающих породу частиц; относительным расположением и взаимоотношением их в породах; характером связей между частицами породы, оказывающих сопротивление при механическом воздействии на нее; последние называют *внутренними структурными связями.*

Структурные связи в грунтах определяют их способность сохранять равновесное состояние в данных природных условиях и сопротивляться внешним воздействиям. Изучение структурных связей в грунтах имеет огромное практическое и теоретическое значение. Без понимания структурных особенностей данного грунта невозможно обоснованно решать вопросы деформируемости пород в основании сооружений, в откосах выемок и в бортах карьеров, при проходке тоннелей и в других случаях. Следовательно, знание структурных связей имеет особое значение для механики грунтов.

В разных породах структурные связи имеют неодинаковый характер, что обусловливает различные их механические свойства. Наиболее сложные структурные связи присущи глинистым, или *связным,* грунтам (супесям и особенно суглинкам и глинам), наиболее распространенным на земной поверхности.

По П. А. Ребиндеру, структурные связи в горных породах подразделяются на коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные.

Коагуляционные структурные связи между минеральными частицами, слагающими осадочные породы, возникают при осаждении в водоемах терригенного материала. Тонкодисперсные и коллоидные частицы, около которых имеются толстые пленки физически связанной воды, испытывая броуновское движение, соударяются. При соударении частиц происходит про-

рыв водных пленок, обычно по углам и ребрам, между частицами в местах контактов проявляются силы межмолекулярного воздействия (силы Ван дер Ваальса) и частицы слипаются — коагулируют, что убыстряет процесс осаждения. Как правило, в процессе коагуляции образуются агрегаты из многих слипшихся минеральных частиц различного размера. В результате на дне водоемов образуется очень рыхлый структурный каркас из агрегатов первого, второго и более высоких порядков.

Коагуляционные структурные связи обычно присущи глинистым породам четвертичного возраста; в более древних глинистых породах наряду с первичными коагуляционными связями возникают структурные связи иного порядка, являющиеся более прочными.

Конденсационные *структурные связи* возникают в обломочных осадочных горных породах в процессе их диагенеза. Факторами, обусловливающими образование этого типа структурных связей, являются кристаллизующиеся из порового раствора различные химические вещества и сложные физико-химические процессы, цементирующие минеральные частицы. Структурные связи рассматриваемого типа могут быть водостойкими (цементирующее действие отвердевших коллоидов кремнезема, гидроокислов железа, алюминия и др.) и водонестойкими (цементация за счет гипса, карбонатов и других растворимых солей). Поскольку этот тип структурных связей обусловливает цементацию рыхлых терригенных осадков, то иначе конденсационные связи называются *цементационными.* Прочность цементационных связей различна, в некоторых породах достигает сотен и тысяч килограммов на квадратный сантиметр. Цементационные структурные связи присущи алевролитам, аргиллитам, песчаникам, мергелям, конгломератам, брекчиям и другим уплотненным обломочным горным породам, которые относятся к скальным породам.

Кристаллизационные структурные связи в разных породах имеют различную природу. В изверженных породах они возникают по мере охлаждения магмы и выкристаллизации из нее минералов. Кристаллизационные связи в хемогенных породах возникают при осаждении из водных пересыщенных растворов солей, отдельные кристаллы которых при этом срастаются друг с другом. Кристаллизационные структурные связи, являясь весьма прочными, при разрушении не восстанавливаются.

Для классификации грунтов и для оценки их поведения во взаимодействии с сооружением необходимо иметь количественные (цифровые) *характеристики,* или *показатели,* их свойств, которые получают путем изучения грунтов методами, подробно излагаемыми в специальных руководствах.

Показатели свойств грунтов.

1. Классификационные, позволяющие подразделять изучаемые грунты по объективным показателям на определенные

классы. К ним относятся: минералогический и гранулометрический состав, естественная влажность, коэффициент влажности, плотность, число пластичности, консистенция и др.

2. Косвенные, позволяющие в первом приближении оценить строительные свойства грунтов. К ним относятся: объемная масса, пористость, пластичность, набухание, консистенция, степень плотности и др.

3. Прямые расчетные, дающие непосредственное количественное выражение важных в строительном отношении свойств грунтов, используемых для окончательных расчетов осадки сооружений, устойчивости искусственных откосов, расчетов водозаборов и дренажных сооружений, подпорных стенок и т. п. К ним относятся: объемная масса, коэффициент уплотнения, модуль общей деформации, сцепление, угол внутреннего трения, относительная просадочность, коэффициент фильтрации и др.

Некоторые косвенные и прямые расчетные показатели используются одновременно и для уточнения классификации грунтов.

Большинство показателей определяется на образцах грунтов в их естественном состоянии, так называемых *монолитах* (при их естественной структуре, пористости и влажности). Только при использовании грунтов как материала для отсыпки насыпей, дамб и т. п. сооружений все показатели определяются на образцах нарушенной структуры, причем они искусственно доводятся до состояния, которое будут иметь в построенном сооружении. Состав показателей, количество определений для каждой разности грунтов и методы определения показателей следует устанавливать в зависимости от типа грунтов, типа сооружения и стадии проектирования. Наиболее полно и на многих образцах для одной и той же разности грунтов (не менее 10—15 определений) показатели их свойств определяются на стадии рабочего проектирования, поскольку по действующим нормативным руководствам многие показатели, особенно прямые расчетные, необходимо определять методами математического статистического обобщения.

При отборе образцов грунтов для лабораторных исследований их свойств должны соблюдаться требования ГОСТ 12071—72 «Грунты. Отбор, упаковка, хранение и транспортирование образцов».

§ 22. Классификация грунтов по механическому составу

Под механическим или гранулометрическим составом принимают процентное содержание частиц различного размера, слагающих данную рыхлую породу. Размер частиц изменяется в широких пределах — от сотен и десятков сантиметров у круп-

нообломочных раздельнозернистых пород до сотых и тысячных долей миллиметра и меньше у глинистых пород. Группы частиц более или менее одинакового размера называются *фракциями*. В СССР в большинстве классификаций грунтов по гранулометрическому составу различают следующие фракции (табл. 3).

Таблица 3

Классификация фракций

Породы	Фракции, мм	Породы	Фракции, мм
Валуны и глыбы		Песчаные частицы	
крупные	>800	грубые	2—1
средние	800—400	крупные	1—0,5
мелкие	400—200	средние	0,5—0,25
Галька и щебень		мелкие	0,25—0,10
очень крупные	200—100	тонкие	0,10—0,05
крупные	100—60	Пылеватые частицы	
средние	60—40	крупные	0,05—0,01
мелкие	40—10	мелкие	0,01—0,005
Гравий и дресва		Глинистые частицы	
крупные	10—6	грубые	0,005—0,001
средние	6—4	тонкие	<0,001
мелкие	4—2		

Изменение размера частиц в грунтах существенным образом сказывается на их свойствах. Песчаные (и более крупные) — не пластичны, не набухают, не дают усадки, хорошо водопроницаемы, обладают незначительным капиллярным поднятием. Глинистые — пластичны, набухают, дают усадку, маловодопроницаемы, имеют большое капиллярное поднятие, влажность их может достигать 600% (очень гидрофильны). При инженерно-геологическом изучении грунтов их гранулометрический состав имеет важное значение и является одним из основных классификационных показателей.

В зависимости от процентного соотношения различных фракций в табл. 4 приведена классификация крупнообломочных и песчаных раздельнозернистых сыпучих пород по СНиП II—15—74.

Знание гранулометрического состава грунтов необходимо для решения целого ряда практических задач: классификации изучаемых пород, ориентировочного определения степени их водопроницаемости, установления возможности их вымыва в откосах выемок и насыпей, расчета гравийных фильтров, оценки грунтов, отсыпки насыпей, балластного слоя, приготовления бетона и в других случаях.

Таблица 4

Классификация раздельнозернистых грунтов по СНиП II—15—74

Виды крупнообломочных и песчаных грунтов	Распределение частиц по крупности в % от массы сухого грунта	Пригодность для возведения земляного полотна
Грунт щебнистый (при преобладании окатанных частиц — галечниковый)	Крупнее 10 мм — более 50	Наиболее пригоден
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц — гравийный)	Крупнее 2 мм — более 50	» »
Песок гравелистый	Крупнее 2 мм — более 25	» »
Песок крупный	Крупнее 0,5 мм — более 50	Пригоден
Песок средней крупности	Крупнее 0,25 мм—более 50	»
Песок мелкий	Крупнее 0,1 мм — более 75	Менее пригоден, чем пески крупные и средние
Песок пылеватый	Крупнее 0,1 мм — менее 75	Мало пригоден

Примечание. Для установления наименования грунта по таблице последовательно суммируются проценты содержания частиц исследуемого грунта: сначала крупнее 10 мм, затем крупнее 2 мм, далее крупнее 0,5 мм и т. д. Наименование грунта дается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

Методы гранулометрического анализа многочисленны и могут быть упрощенные, полевые, для приближенного определения состава пород и точные, производимые в лабораториях, оснащенных специальной аппаратурой. Эти методы описаны в специальных руководствах.

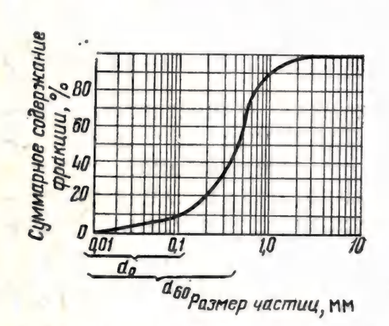


Рис. 26. Суммарная кривая гранулометрического состава в полулогарифмическом масштабе

Результаты гранулометрического анализа для наглядности изображаются графически в виде циклограмм, треугольников, а чаще всего в виде суммарных кривых в полулогарифмическом масштабе (рис. 26). По графику гранулометрического состава определяется эффективный или действующий диаметр d_{10}, диаметр шестидесяти d_{60} и коэффициент неоднородности. Эффективный диаметр — диаметр частиц, меньше которого в данном грунте содержится (по весу) 10% частиц.

Коэффициент неоднородности определяется по формуле:

$$K_{\text{н}} = \frac{d_{60}}{d_{10}}.$$

При коэффициенте неоднородности песчаных грунтов больше 3, а глинистых — больше 5 они считаются *неоднородными.*

d10 - ø ч-ц эффективный или действующий
d60 - ø ч-ц контролирующий

§ 23. Физические свойства грунтов

Удельная масса (плотность). Плотность грунтов $\gamma_{ск}$ — масса единицы объема минеральных частиц (удельная масса), определяемая как отношение массы частиц к объему вытесненной ими жидкости. Плотность минералов, входящих в состав рыхлых пород, изменяется в незначительных пределах.

Величина удельной массы используется для определения некоторых физических и механических показателей, поэтому она является косвенной характеристикой. Определяется по ГОСТ 5181—78.

Объемная масса γ_0 — масса единицы объема грунта при естественной пористости и влажности. Поскольку грунтам присуща пористость, то объемная масса всегда меньше удельной массы. Объемная масса грунтов является одной из самых важных физических характеристик, определяя многие их строительные свойства. Величина объемной массы зависит от пористости и степени увлажнения породы; максимальная объемная масса при данной пористости будет при полном заполнении пор водой. Объемная масса породы является прямым расчетным показателем и используется для: 1) расчета давления грунта на подпорные стенки; 2) расчета устойчивости откосов выемок котлованов, карьеров и т. п.; 3) определения величины горного давления в тоннелях; 4) вычисления объемной массы скелета грунта, его пористости и коэффициента пористости (в последнем случае объемная масса является косвенным показателем); 5) определения допускаемого давления в основании сооружения и решения других задач.

Определяется объемная масса на монолитах по ГОСТ 5182—64. Недостатком этого метода является малый объем грунта в измеряемых приборах и необходимость извлечения образцов из массива пород, в процессе чего естественная пористость грунта в какой-то мере нарушается. Поэтому в последние годы разработаны методы определения объемной массы грунта непосредственно в массиве — пенетрационные и ядерные. Ядерные гамма-лучевые методы являются наиболее перспективными благодаря высокой производительности, экономичности для практических целей и дают вполне надежную точность. Могут применяться как при однократных, так и многократных определениях объемной массы одного и того же массива грунта, что особенно важно при ведении стационарных наблюдений на оползневых склонах, за осадками сооружений во времени и т. п.

Объемная масса скелета грунта *(объемная масса твердой фазы)* γ_c — масса единицы объема грунта при естественной пористости, но без массы поровой воды. Объемная масса скелета грунта характеризует плотность породы и определяется по формуле:

$$\gamma_c = \frac{\gamma_0}{1 + 0{,}01W}, \qquad (63)$$

где W — естественная влажность грунта.

Естественная влажность W — количество воды в порах грунта в естественных условиях — представляет собой отношение массы воды к массе частиц в данном объеме грунта в процентах. Определяется естественная влажность по ГОСТ 5180—75 на образцах, отобранных в поле. В природной обстановке естественная влажность определяется различными методами: электротермическим, термоэлектрическим, диэлектрическим и нейтронным, изложенными в специальных руководствах. Из них наиболее эффективным является нейтронный, отличающийся от других дешевизной, точностью и оперативностью. Влажность грунтов (особенно глинистых) является важной их характеристикой и изменяется в широких пределах — от нескольких (в сухих песках) до многих сотен процентов (в илах). В зависимости от влажности песчаные и глинистые породы могут находиться в различном физическом состоянии, соответственно чему (особенно у глинистых грунтов) изменяется их прочность, деформируемость и устойчивость. Влажность, соответствующая полному заполнению всех пор грунта водой, именуется *полной влагоемкостью* и определяется по формуле (в %):

$$W_в = \frac{100e}{\gamma_ч} \quad \text{или} \quad W_в = \frac{n}{\gamma_c}, \qquad (64)$$

где e — коэффициент пористости; n — пористость.

В природных условиях естественная влажность не всегда соответствует полной влагоемкости. В подобных случаях характеристикой степени заполнения водой служит *степень влажности грунта, или коэффициент влажности* (доля заполнения объема пор грунта водой) — отношение объема пор, заполненных водой, к общему объему пор в данном объеме грунта. Коэффициент влажности определяется по формуле:

$$G = \frac{W\gamma_ч}{e \cdot 100} \quad \text{или} \quad G = \frac{W}{W_в}. \qquad (65)$$

Из физического определения степени влажности следует, что этот показатель может изменяться от 0 до 1 (все поры в грунте заполнены водой).

По величине G песчаные, а также макропористые грунты подразделяются на маловлажные $G < 0{,}5$; очень влажные $0{,}5 < G < 0{,}80$ и насыщенные водой $0{,}8 < G \leqslant 1$. Степень влажности является важной характеристикой песчаных грунтов, так как их поведение в сооружениях определяется не абсолютной влажностью, а относительной, количественно характеризуемой этим показателем.

Пористость n (в %) — отношение объема пор ко всему объему грунта.

Коэффициент пористости e — отношение объема пор к объему скелета (объему твердой фазы) грунта. Пористость и коэффициент пористости являются очень важными показателями свойств грунтов. Они характеризуют их плотность, что при оценке грунтов как оснований сооружений имеет существенное значение. В зависимости от значения коэффициента пористости по СНиП II—15—74 устанавливаются нормативные и расчет-

Таблица 5

Подразделение песков по плотности

Вид песчаных грунтов	Плотность сложения грунтов		
	плотные	средней плотности	рыхлые
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	$e<0,55$	$0,55<e<0,70$	$e>0,70$
Пески мелкие	$e<0,60$	$0,60<e<0,75$	$e>0,75$
Пески пылеватые	$e<0,60$	$0,60<e<0,80$	$e>0,80$

ные характеристики песчаных и глинистых грунтов (для последних с учетом также числа пластичности и консистенции).

Подразделение песчаных грунтов по плотности в зависимости от величины коэффициента пористости (по СНиП II—15—74) приведено в табл. 5.

Степень, или индекс, плотности является общей характеристикой плотности песков любого минерального и гранулометрического состава и различной формы; определяется по формуле:

$$I = \frac{e_{\text{макс}} - e_0}{e_{\text{макс}} - e_{\text{мин}}}, \tag{66}$$

где $e_{\text{макс}}$ — коэффициент пористости песков в самом рыхлом состоянии (определяется в лаборатории); $e_{\text{мин}}$ — коэффициент пористости в самом плотном состоянии (также определяется в лаборатории); e_0 — коэффициент пористости в естественном состоянии.

В зависимости от величины I песчаные грунты подразделяются на следующие разности: *рыхлые* $I \leqslant 0,33$; *средней плотности* $0,33 < I \leqslant 0,66$ и *плотные* $I > 0,66$ (до 1). Если $e_0 = e_{\text{макс}}$, то $I = 0$, грунт находится в самом рыхлом состоянии. При $e_0 = e_{\text{мин}}$, $I = 1$, грунт находится в самом плотном состоянии. Поскольку определения $e_{\text{макс}}$ и $e_{\text{мин}}$ являются несколько условными, то плотность песчаных сыпучих грунтов, определяемая I, является лишь их качественной характеристикой. Тем не менее показатель относительной плотности характеризует потенциальную возможность песчаного грунта к дальнейшему уплотнению.

Для характеристики способности песков к уплотнению используется показатель, называемый уплотняемостью песка F, определяемый по формуле:

$$F = \frac{e_{макс} - e_{мин}}{e_{мин}}. \qquad (67)$$

Чем больше этот показатель, тем более уплотняемыми являются пески.

Пористость грунтов определяется расчетом, так как лабораторные методы непригодны в связи с тем, что при заполнении пор водой породы набухают, их пористость возрастает и уже не соответствует естественной пористости грунтов. Пористость определяется по формуле:

$$n = \frac{\gamma_ч - \gamma_с}{\gamma_ч} \cdot 100. \qquad (68)$$

Коэффициент пористости вычисляется по формуле:

$$e = \frac{\gamma_ч - \gamma_с}{\gamma_с} \quad \text{или} \quad e = \frac{n}{100 - n}. \qquad (69)$$

Поскольку плотность грунтов, характеризуемая пористостью, является важной их строительной характеристикой, то в последние годы предложены методы, позволяющие определять пористость грунтов в их естественном состоянии с помощью радиоактивных изотопов и пенетрацией. Определение естественной плотности пород радиоактивными методами основано на использовании явлений рассеяния и поглощения гамма-лучей, испускаемых радиоактивным источником, при их прохождении через породу. С увеличением плотности пород проникающая сила гамма-излучения уменьшается в определенной зависимости, а величина рассеяния гамма-лучей увеличивается. На точность определения плотности пород этим методом степень влажности пород, минерализация подземных вод, а также температура пород никакого влияния не оказывают. В настоящее время сконструированы приборы, позволяющие определять плотность пород радиоактивными методами на любой глубине при ничтожной затрате средств и времени на каждое определение.

Метод пенетрации или зондирования для определения плотности грунтов, рекомендуемый СНиП, описан ниже.

П л а с т и ч н о с т ь   г р у н т о в — способность глинистых пород изменять свою форму (деформироваться) под действием внешних сил без разрыва сплошности и сохранять полученную при деформации новую форму после прекращения действия внешних сил.

Связные (глинистые) грунты при обычных температурах проявляют пластичность лишь при определенном содержании физически связанной воды, позволяющем минеральным частицам передвигаться (скользить) относительно друг друга без разрыва сплошности. С неполярными жидкостями (керосин,

бензин и др.) грунты не дают пластичной массы, поскольку между этими жидкостями и грунтовыми частицами не возникают силы электростатического взаимодействия и около частиц не образуются сольватные оболочки из этих жидкостей.

Пластичные свойства глинистых грунтов зависят от влажности, степени дисперсности, минерального состава, состава обменных катионов, концентрации порового раствора и состава катионов раствора и других факторов.

Важнейшими факторами, обусловливающими пластичность грунтов, является их гранулометрический и минеральный состав. Пластичность начинает проявляться у частиц мельче 0,005 мм; значительная величина пластичности присуща частицам 0,001—0,0005 мм, наибольшей величины она достигает у частиц менее 0,0002 мм. В присутствии органических коллоидов пластичность сильно увеличивается.

Минеральный состав также является фактором, в значительной степени определяющим пластичность грунтов, так как толщина гидратных оболочек физически связанной воды у разных минералов при их одинаковой дисперсности различная. Наибольшая пластичность присуща грунтам монтмориллонитового состава, менее пластичны гидрослюдистые и еще менее — каолинитовые.

Величина пластичности в зависимости от состава обменных катионов (при прочих равных условиях) увеличивается согласно следующему ряду: $катион^{3+} < катион^{2+} < катион^{+}$. Эта закономерность соответствует изменению содержания рыхлосвязанной воды, которая наблюдается при замещении одних катионов на другие.

Значительное влияние на пластичность грунтов оказывают состав и концентрация порового раствора, поскольку это влияет на толщину диффузного слоя, а тем самым и на толщину гидратных оболочек у частиц.

Существенное влияние на пластичность оказывают структурные связи в грунтах. Наибольшая пластичность, при прочих равных условиях, присуща грунтам с коагуляционными связями. В грунтах с кристаллизационными связями пластичность проявляется только при разрушении этих связей.

Следовательно, все факторы, увеличивающие величину диффузного слоя, а тем самым и толщину гидратной пленки физически связанной воды, способствуют увеличению пластичности грунтов и чувствительности их к изменениям внешней физико-химической обстановки.

Глинистые породы становятся пластичными только при некотором строго определенном содержании воды. В инженерно-геологической практике пластичность глинистых пород характеризуется так называемыми *пределами пластичности.*

Нижний предел пластичности или *предел раскатывания в проволоку* W_p — влажность в процентах, при которой глина

раскатывается в жгутики диаметром 3 мм; при этой влажности глинистая порода из твердого состояния переходит в пластичное. Определяется по ГОСТ 5183—77.

Верхний предел пластичности или *граница текучести* $W_т$ — влажность в процентах, при которой глинистые грунты из пластичного состояния переходят в текучее. Определяется по ГОСТ 5183—77.

Число пластичности, или *индекс пластичности*, $I_п$ — разность между влажностью верхнего и нижнего пределов пластичности:

$$I_п = W_т - W_р. \quad (70)$$

Число пластичности является классификационным показателем. По СНиП II—15—17 глинистые грунты в зависимости от числа пластичности подразделяются на три вида (табл. 6).

Таблица 6

Подразделение глинистых грунтов по пластичности

Виды глинистых грунтов	Число пластичности
Супесь	$0{,}01 < I < 0{,}07$
Суглинок	$0{,}07 < I_п < 0{,}17$
Глина	$I_п > 0{,}17$

Консистенция грунтов. Из характеристики пределов пластичности следует, что состояние глинистых пород и их строительные свойства изменяются в зависимости от степени увлажнения. Так, сухая глина при увлажнении из состояния твердого тела переходит сначала в пластичное, а затем в текучее. Такое изменение состояния глин при увлажнении называется изменением их консистенции. Под *консистенцией* понимается степень подвижности частиц грунта или сопротивляемость его внешним механическим воздействиям при различной влажности. Количественно консистенция характеризуется *показателем консистенции* I_L, который определяется по формуле:

$$I_L = \frac{W - W_р}{I_п}. \quad (71)$$

Таблица 7

Состояние глинистых грунтов по показателю консистенции

Грунты	Показатель консистенции
Супеси	
твердые	$I_L < 0$
пластичные	$0 < I_L < 1$
текучие	$I_L > 1$
Суглинки и глины	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 < I_L < 0{,}25$
тугопластичные	$0{,}25 < I_L < 0{,}5$
мягкопластичные	$0{,}5 < I_L < 0{,}75$
текучепластичные	$0{,}75 < I_L < 1$
текучие	$I_L > 1$

По СНиП II—15—74 классификация глинистых грунтов по величине показателя консистенции приведена в табл. 7.

По значениям коэффициента пористости, нижнего предела пластичности и показателя консистенции по указанному СНиП для глинистых грунтов устанавливаются соответствующие рас-

четные характеристики, используемые при расчете осадок сооружений, устойчивости откосов и др.

Определяемые указанными выше способами пределы пластичности и консистенции не отражают естественного состояния глинистых пород, так как значения пределов пластичности определяются на образцах нарушенной структуры, когда полностью разрушаются присущие им в природном состоянии внутренние структурные связи. Поэтому более точно консистенцию глинистых пород, а тем самым и их прочность следует определять в природном состоянии. При этом наиболее перспективными являются методы пенетрации и зондирования.

Таблица 8

Консистенция глинистых грунтов по результатам пенетрации

Состояние грунтов	Удельное сопротивление пенетрации, 0,1 МПа
Твердое	$R>0,9$
Полутвердое	$0,085<R<0,19$
Тугопластичное (вязкопластичное)	$0,038<R<0,085$
Мягкопластичное (липкопластичное)	$0,017<R<0,038$
Текучепластичное (вязкотекучее)	$0,0076<R<0,017$
Текучее	$R<0,0076$

Методы пенетрации и зондирования состоят в определении сопротивления грунтов проникновению в них наконечников-конусов определенной формы и размеров. Если глубина погружения конуса не превышает его высоты, метод называют *пенетрацией*, а если превышает — *зондированием*. Оценку глинистых грунтов по результатам зондирования производят по табл. 8, определив предварительно удельное сопротивление зондирования R по формуле:

$$R = \frac{P}{h^2}, \qquad (72)$$

где P — усилие зондирования, 0,1 МПа; h — глубина погружения конического наконечника под влиянием усилия P, см.

Прочность глинистых грунтов по удельному сопротивлению пенетрации по СНиП II—15—74 определяется по табл. 9.

Таблица 9

Наименование глинистых грунтов по удельному сопротивлению пенетрации

Грунты	Удельное сопротивление пенетрации R, 0,1 МПа
Слабые	$<0,05$
Средней прочности	0,05—0,1
Прочные	0,1—0,2
Очень прочные	$>0,2$

Липкость (клейкость, прилипаемость) — способность грунтов при определенном содержании воды прилипать к рабочим органам землеройных механизмов и инструментам. Проявляется липкость при влажности выше нижнего предела пластичности. Это свойство грунтов изучено недостаточно. Полагают, что липкость обусловливается силами взаимодействия между молекулами физически связанной воды и частицами грунта, с одной

стороны, и молекулами воды и поверхностью соприкасающегося с грунтом инструмента, — с другой.

Количественной характеристикой липкости грунтов является максимальное усилие, необходимое для отрыва металлической пластинки от грунта при различной его влажности; определяется в лабораторных условиях. Различают влажность начального прилипания, влажность максимального прилипания и максимальное значение липкости. Липкость грунтов определяется теми же факторами, что и пластичность, в наибольшей степени липкость проявляется в натрий-монтмориллонитовых глинах. Определение липкости имеет существенное значение при строительстве дорог, аэродромов и других объектов; значительная липкость осложняет работу землеройных машин при отрывке котлованов, при выполнении вскрышных работ на карьерах и т. п., что и следует учитывать заранее.

Набухание и усадка грунтов. Глинистые породы при увлажнении увеличиваются в объеме — *набухают,* а при уменьшении влажности происходит уменьшение их объема — *усадка.* Причиной набухания является увеличение толщины гидратных оболочек физически связанной воды. Объем минеральных частичек в набухающем грунте остается неизменным, а увеличение объема обусловливается увеличением пор, полностью заполняемых водой; тем самым влажность набухающих грунтов возрастает. Поскольку утолщающиеся около минеральных частичек гидратные оболочки снижают силы молекулярного притяжения между частицами, прочность набухших грунтов значительно уменьшается. Усадка обусловливается процессами, обратными набуханию. Утончающиеся при уменьшении влажности гидратные оболочки не препятствуют проявлению сил молекулярного притяжения между твердой фазой грунта и происходит сближение частиц, а объем грунта сокращается.

Важнейшие факторы, обусловливающие набухание глинистых грунтов при увлажнении, аналогичны тем, которые влияют на пластичные свойства грунтов, их обменную способность и другие, уже разобранные выше, а именно: 1) степень дисперсности; 2) минеральный состав; 3) состав обменных катионов; 4) характер внутренних структурных связей; 5) химический состав и концентрация порового раствора; 6) pH порового раствора; 7) величины внешней нагрузки. Чем дисперснее глины, тем они сильнее набухают и им присуща большая усадка.

По СНиП 11 15—74 к набухающим грунтам относятся те, которые при замачивании водой или агрессивными средами увеличивается в объеме, при этом величина относительного набухания в условиях свободного набухания (без нагрузки) $\delta_н \geqslant 0{,}04$. Относительное набухание определяется по формуле

$$\delta_н = \frac{h^1 - h}{h}, \qquad (73)$$

где h — начальная высота образца грунта природной влажности; h' — высота образца после его свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения в результате замачивания до полного водонасыщения.

Набухающие грунты в зависимости от величины относительного набухания без нагрузки подразделяются на слабонабухающие ($0,04<\delta_н<0,08$); средненабухающие ($0,08<\delta_н<0,12$) и сильнонабухающие ($\delta_н>0,12$).

§ 24. Механические свойства грунтов

Сжимаемость грунтов. Механические свойства грунтов определяют в своей совокупности их «поведение» в основании сооружений, в откосах выемок, карьеров, котлованов, в подземных сооружениях и т. д. Механические свойства грунтов всецело обусловливаются всей совокупностью их физических свойств и должны изучаться и оцениваться не изолированно, а в комплексе с их физическими свойствами и с учетом требований, предъявляемых к грунтам при проектировании и строительстве конкретных объектов. В строительной практике наибольшее значение имеют механические свойства рыхлых горных пород, которые распространены почти повсеместно. Строительство самых разнообразных объектов, в том числе и капитальных, приходится осуществлять преимущественно на глинах, суглинках, супесях и прочих рыхлых горных породах, в силу чего эти породы и являются основным объектом изучения в строительных целях.

Под действием внешних сил (давления от веса сооружений и т. п.) в рыхлых нескальных горных породах возникают как общие деформации, присущие всем сплошным телам, так и деформации, обусловленные перемещением минеральных частичек, слагающих эти породы.

Если при действии внешних нагрузок структурное сцепление между минеральными частицами не будет разрушено, то грунты будут деформироваться как сплошные тела, минеральные частицы будут только сближаться, уплотняться без взаимного перемещения, что обусловит изменение объема грунта, поэтому эти деформации называются объемными. Если же структурное сцепление будет разрушено, то деформации в грунтах будут определяться перемещением отдельных минеральных частиц или их агрегатов. Такие деформации называются *сдвигом.* Отсюда механические свойства рыхлых горных пород при воздействии на них внешних воздействий характеризуются показателями сопротивления их сжатию и сдвигу, которые являются основными количественными показателями при оценке сжимаемости, прочности и устойчивости пород в основании сооружений, в откосах выемок, котлованов и карьеров, в горных выработках и других сооружениях. Показатели, характеризую-

щие сжимаемость грунтов, именуются *деформативными,* а характеризующие сопротивление сдвигу, — *прочностными.*

Степень сжатия и уплотнения грунтов и явления, происходящие при этом в них, зависят от вида и структурных особенностей грунтов. Сжатие раздельнозернистых грунтов, у которых внутренние связи отсутствуют (пески, гравий, щебенка), зависят от степени их плотности, гранулометрического и минерального состава, а также характера внешнего воздействия. При статическом давлении, обусловленном весом сооружений или вышележащей толщи грунтов, уплотнение раздельнозернистых грунтов будет обусловливаться перемещением отдельных зерен относительно друг друга (чему препятствует трение, возникающее на поверхности перемещающихся зерен). Этот процесс протекает сравнительно быстро, почти независимо от влажности и при тех давлениях, которые практически передаются на грунты отвеса возводимых сооружений, сжатие раздельнозернистых грунтов является незначительным. Поэтому как основание сооружений раздельнозернистые грунты являются вполне удовлетворительными. Взаимному перемещению минеральных частичек в раздельнозернистых грунтах, как указывалось, оказывают сопротивление преимущественно силы трения, проявляющиеся на поверхности скольжения.

Если на подобные грунты будут воздействовать динамические (знакопеременные) нагрузки, то в зависимости от степени плотности, влажности, гранулометрического и минерального состава их уплотнение может быть значительным, что необходимо знать заранее.

Сжимаемость связных, или глинистых, пород, занимающих преобладающее положение среди рыхлых нескальных грунтов, зависит от сочетания и взаимовлияния многих факторов; степени их дисперсности (гранулометрического состава), минерального состава, емкости обмена, состава обменных катионов, pH среды, концентрации порового раствора и характера преобладающих в растворе катионов, степени увлажнения, консистенции грунта, характера структурных связей (коагуляционные или конденсационно-кристаллизационные), характера и скорости приложения нагрузок и др.

Наиболее сжимаемы натрий-монтмориллонитовые глины при их значительном увлажнении, при показателе консистенции свыше 0,5 и при наличии только коагуляционных структурных связей. Каолинитовые глины менее сжимаемы. Глины, в обменном комплексе которых преобладают катионы кальция, также менее сжимаемы. Чем больше пористость, тем больше абсолютная сжимаемость глинистых пород (при прочих равных условиях). В процессе сжатия связных грунтов значительную роль играют гидратные оболочки рыхлосвязанной воды, воспринимающие часть нагрузок и деформирующиеся при сжатии: чем они толще, тем более сжимаемы грунты. Более тол-

стые гидратные оболочки образуются при наличии в диффузном слое катионов первой группы (натрия и других) и малой минерализации порового раствора и при pH среды, близкой к семи.

Нарушение структурных связей в глинистых грунтах резко увеличивает их сжимаемость. Существенное влияние на сжимаемость связных грунтов оказывают скорость нарастания нагрузки и ее величина: чем с большей скоростью нарастает нагрузка и чем больше при этом ее величина, тем больше (при прочих равных условиях) уплотняются глинистые породы.

При полном насыщении этих пород водой скорость сжатия будет определяться степенью их водопроницаемости: при малых значениях коэффициента фильтрации и большой мощности сжимаемого глинистого слоя процесс сжатия длится многие годы. Если в порах связных грунтов кроме воды находится и воздух (трехфазное состояние грунта), который может свободно выходить, то сжатие происходит быстрее.

Количественно влияние всех указанных факторов в их совокупности на степень сжатия глинистых пород точно еще не установлено, но качественно определено, что и необходимо учитывать при инженерно-строительной оценке связных грунтов.

Сопротивление рыхлых горных пород сжатию количественно характеризуется в основном двумя показателями — коэффициентом уплотнения (он же коэффициент сжатия) и модулем общей деформации, численные значения которых определяются опытным путем на образцах грунтов в лабораторных условиях или при помощи специальных установок в полевых условиях.

Сопротивление сжатию рыхлых пород в лаборатории определяется прибором с жесткими стенками — *одометром*, что исключает возможность бокового расширения образца грунта, или в условиях трехосного сжатия — *стабилометром.*

В одометре образец грунта помещается в жесткую металлическую обойму — кольцо. Давление на образец передается с помощью рычажного приспособления, на который устанавливается груз. Уплотнение фиксируется при помощи специального индикатора (мессуры), регистрирующего изменения высоты образца, что связано с уменьшением пористости грунта.

Связь между изменением пористости и давлением выражается логарифмической кривой (рис. 27), называемой *компрессионной.* Для графического построения компрессионной кривой на оси ординат откладывают значения коэффициента пористости e, а на оси абсцисс — давление P, 0,1 МПа.

Важнейшим показателем механических свойств грунтов, получаемым при компрессионных испытаниях, является *коэффициент уплотнения* a (он же коэффициент сжатия), характеризующий изменение пористости, а тем самым и объем грунта при изменении нагрузки.

Параметры компрессионной кривой определяются аналитически, для чего необходимо экспериментально определить

три значения коэффициента пористости при трех значениях вертикального давления и решить систему трех уравнений. Определить коэффициент уплотнения по логарифмической кривой (см. рис. 27) сложно. Поэтому для давления, обычно встречающихся в строительной практике, отрезок логарифмической кривой $M—e$ (рис. 28) принимают за прямую, и при этом

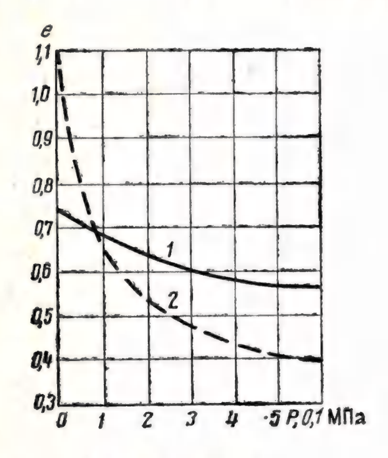


Рис. 27. Компрессионные кривые образцов:
1 — естественной структуры; *2* — нарушенной структуры

Рис. 28. Определение параметров компрессионной кривой

допущении коэффициент уплотнения определяется по формуле:

$$a = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1}, \tag{74}$$

где P_1, P_2, e_1, e_2 — нагрузки и соответствующие им коэффициенты пористости.

По результатам компрессионных испытаний определяют *модуль общей деформации* E по формуле:

$$E = \left(1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}\right)\left(\frac{1+e_0}{a}\right), \tag{75}$$

где e_0 — коэффициент пористости грунта в естественных условиях, соответствующий на компрессионной кривой нагрузке P_0; μ — коэффициент Пуассона (поперечного расширения), который определяется опытным путем или по табличным данным.

Коэффициент уплотнения и особенно модуль деформации, характеризуя деформационные свойства грунтов, являются важнейшими расчетными показателями.

В *стабилометрах* определение механических свойств грунтов проводится в условиях трехосного сжатия, что более правильно моделирует напряженное состояние грунтов в основании сооружений. Испытания в стабилометрах позволяют

комплексно определить все расчетные показатели грунтов: коэффициент уплотнения, модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения, коэффициент бокового давления, коэффициент Пуассона, коэффициент фильтрации при заданном давлении и др. Эти показатели широко используются при расчетах осадок сооружений (зданий, насыпей, мостовых опор), расчетах устойчивости склонов выемок, насыпей, котлованов и других сооружений, при определении давления грунтов на подпорные сооружения, горного давления в подземных сооружениях.

Сопротивление грунтов сдвигу является важнейшим их механическим свойством, определяющим прочность в основаниях и устойчивость в откосах.

Основным показателем прочности является сопротивление сдвигу, зависящее от физических свойств грунтов. Вопрос о сопротивлении грунтов сдвигу в строительной практике имеет исключительно важное значение. Без знания характеристик сопротивления сдвигу и пра́вильного их использования невозможно вести расчеты давления грунтов на подпорные сооружения, расчеты прочности, устойчивости грунтов в основании сооружений, в откосах насыпей, дамб, выемок, карьеров и котлованов, очень трудно определять величину горного давления в горных выработках.

Показатели сопротивления грунта сдвигу определяются различными способами, среди которых выделяют: 1) прямой сдвиг по заранее фиксированной в сдвиговом приборе плоскости; 2) путем раздавливания образцов при одноосном и трехосном сжатии; 3) по углу естественного откоса; 4) срез по цилиндрической поверхности; 5) вдавливание конического или шарового наконечника.

В практике лабораторных исследований широко применяется способ прямого сдвига по фиксированной плоскости, для чего существуют различные приборы, отличающиеся только конструктивно (ДорНИИ, Маслова — Лурье и др.).

Лабораторные испытания грунтов для определения их сопротивления сдвигу способом поперечного среза производят на нескольких образцах исследуемого грунта при различных вертикальных (нормальных) давлениях (минимум при трех). В зависимости от характера предварительной подготовки образцов к опытам различают: 1) сдвиг нормально уплотненных (сконсолидированных) образцов; 2) сдвиг переуплотненных образцов, когда образцы предварительно уплотняются при различных давлениях до окончания процесса консолидации, а сдвиг производится без нагрузки или при меньших нагрузках; 3) сдвиг недоуплотненных образцов (полная консолидация не завершилась) при различных вертикальных нагрузках. В зависимости от скорости приложения сдвигающего усилия в процессе опыта различают также медленный и быстрый

сдвиг. Результаты определения показателей сопротивления грунтов сдвигу во всех перечисленных случаях являются различными.

Выбор методики испытаний в каждом конкретном случае определяется: 1) видом технологии производства строительных работ; 2) характером возможного взаимодействия сооружения с грунтом; 3) конструкцией сооружения; 4) физическими свойствами и состоянием грунтов с учетом условий, в которых грунты будут находиться во взаимодействии с сооружением.

Методика производства опытов по определению сопротивления грунтов сдвигу и описание применяемых при этом приборов изложены в специальных руководствах. Результаты испытаний сопротивления грунтов сдвигу выражают в виде графика (рис. 29), причем на оси абсцисс откладывают нагрузки, а на оси ординат — соответствующие им сдвигающие усилия. Математически сопротивление грунтов сдвигу выражается уравнением Кулона:

$$\tau = \sigma f + C, \qquad (76)$$

где τ — сопротивление сдвигу, МПа; σ — нормальная нагрузка, МПа; f — коэффициент внутреннего трения, $f = \operatorname{tg} \varphi$ (φ — угол внутреннего трения); C — сцепление, МПа.

Уравнение показывает, что суммарное сопротивление сдвигу равно нормальному давлению, умноженному на коэффициент внутреннего трения, плюс некоторая постоянная C, которая свидетельствует, что даже при отсутствии нормального давления необходимо приложить какое-то сдвигающее усилие $\tau = C$ для достижения сдвига. Силу C, сопротивляющуюся сдвигу при отсутствии внешней нагрузки, называют *сцеплением*. Коэффициент внутреннего трения f и сцепление C являются важнейшими прочностными показателями и точное определение их является одной из основных задач при инженерно-геологических изысканиях.

В несвязных бесструктурных, раздельнозернистых (они же сыпучие) грунтах силы сцепления ничтожны, практически не улавливаются применяемыми в практике приборами, поэтому приравниваются к нулю. Для подобных грунтов зависимость между сдвигающими и нормальными напряжениями при сдвиге выражается уравнением:

$$\tau = \sigma f. \qquad (77)$$

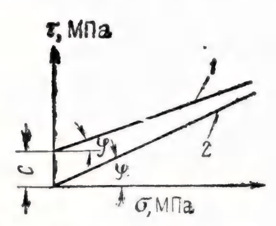


Рис. 29. График зависимости сопротивления грунтов сдвигу от вертикальной нагрузки:

1 — для связных грунтов; *2* — для несвязных грунтов

Графически эта зависимость изображается прямой *2*, проходящей через начало координат (см. рис. 29). В чистых песках приближенно величина угла внутреннего трения соответствует

углу естественного откоса, т. е. углу, при котором неукрепленный откос песчаного грунта является устойчивым. Этот угол определяется в воздушно-сухом состоянии под водой специальными приборами.

В лабораторных условиях наиболее достоверно сопротивление грунта сдвигу может быть определено способом трехосного сжатия при помощи стабилометра. Этот способ находит все более широкое применение в практике инженерно-геологических исследований.

Как указывалось выше (см. § 23), наиболее достоверно прочность грунтов в их естественном состоянии определяется методом динамического и статического зондирования. Подробно методика динамического зондирования изложена в ГОСТ 19912—74, а статического — в ГОСТ 20169—74.

§ 25. Элементы механики мерзлых грунтов

В инженерном деле мерзлыми грунтами, по Н. А. Цитовичу, называют породы, которые имеют отрицательную температуру и в которых хотя бы часть воды находится в твердой фазе (в виде льда), цементируя минеральные частицы. Между количеством жидкой и твердой фаз воды в мерзлых грунтах устанавливается динамическое равновесие, зависящее от изменения температуры и частично от внешнего давления. В фазовых превращениях участвуют только рыхлосвязанная и свободная вода. Наиболее значительные изменения фазового состояния воды происходят в интервале температур от 0 до минус 7° С; менее значительны фазовые изменения воды в связных грунтах при температуре минус 10 — минус 30° С. Фазовые превращения воды в связных грунтах называются *принципом равновесного состояния,* который является основой новых методов расчета прочности мерзлых грунтов при изменении температуры и внешних давлений.

В процессе промерзания грунтов в них формируется своеобразная текстура — массивная, слоистая и сетчатая, во многом определяющая механические свойства грунтов. Массивная текстура не содержит обособленных ледяных включений и образуется в раздельнозернистых грунтах (песчаных, гравелистых и т. п.); объем пор при этом остается почти неизменным, что и является причиной отсутствия пучин на участках дорог, сложенных раздельнозернистыми породами. Слоистая текстура характеризуется наличием ледяных включений, расположенных в виде более или менее параллельных прослоек и линз. Сетчатая текстура характеризуется хаотическим расположением ледяных включений, образующих более или менее непрерывную пространственную решетку (сетку). Слоистая и сетчатая текстуры возникают в связных грунтах, особенно пылеватых, что и обусловливает их наибольшую пучинистость. При оттаивании пучинистых грунтов их механическая прочность резко

падает, что обычно и является причиной деформации дорожного полотна и других сооружений, воздвигнутых на подобных грунтах.

Механические свойства мерзлых грунтов резко отличны от свойств талых грунтов. Только свойства скальных пород при отрицательной температуре не отличаются от свойств талых грунтов при температуре выше 0° С. Раздельнозернистые породы при замерзании их в условиях полного увлажнения превращаются в плотные прочно сцементированные породы массивной текстуры, не увеличиваясь при этом в объеме. Последнее объясняется тем, что увеличивающаяся в объеме замерзающая вода отжимает в сторону еще не замерзшую, а освобождающееся при этом поровое пространство полностью и равномерно заполняется льдом, что и придает раздельнозернистым породам массивную текстуру, аналогичную текстурам кремнистых песчаников. Временное сопротивление сжатию песков, сцементированных льдом, при температуре минус 10° С достигает 1,2—1,5 МПа, при повышении температуры временное сопротивление сжатию падает, а при понижении — увеличивается. При длительном же действии постоянной нагрузки сопротивление мерзлых песков внешним усилиям падает в десятки раз, что обусловливается релаксацией (расслаблением) льдоцементационного сцепления, в результате чего проявляются свойства текучести льда, заполняющего поры в грунте.

Если замерзание раздельнозернистых пород происходит в условиях малого их увлажнения, то сцементированность льдом отдельных песчинок наблюдается лишь частично, а вся масса породы остается сыпучей. Такое состояние раздельнозернистых пород получило название *сухая мерзлота*.

Связные грунты при замерзании увеличиваются в объеме, пучатся. Механические свойства их в замерзшем состоянии довольно высокие. Временное, так называемое мгновенное сопротивление сжатию глин при температуре минус 10° С достигает 0,3—0,5 МПа. Этим и объясняется значительное сопротивление мерзлых грунтов действию мгновенных внешних усилий (при бурении, проходке шурфов и т. п.). При действии же длительных нагрузок (как и в раздельнозернистых породах) мерзлые связные грунты деформируются при значительно меньших нагрузках. Так, длительное сопротивление сдвигу глины при общей влажности 32% и температуре минус 2° С составляет всего лишь 0,018—0,011 МПа.

При некоторой нагрузке мерзлые грунты вообще не разрушаются, как бы долго она ни действовала. Нагрузка, по достижении которой мерзлые грунты не разрушаются независимо от времени ее действия, соответствует пределу длительной прочности грунтов $\sigma_{дл}$. Длительная прочность грунтов является их существенной характеристикой и непременно определяется при инженерно-геологических исследованиях.

Вечномерзлые нескальные грунты по состоянию их в природных условиях подразделяются на три категории: твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые (табл. 10).

Таблица 10

Показатели категорий вечномерзлых грунтов

Категория грунта	Температура	Физическое состояние	Внешний вид	Наименование грунтов, в которых встречается данная разновидность
Твердомерзлые	Отрицательная или нулевая при наличии ледяных включений	Твердосмерзшиеся, сцементированные льдом	Видимые ледяные кристаллы и прослойки; при оттаивании изменяют цвет на более темный	Все виды крупнообломочных, песчаных, глинистых и заторфованных грунтов
Пластичномерзлые	То же	Полусмерзшиеся, пластичные	Льда в порах не видно; иногда (при рассмотрении в лупу) лед наблюдается в виде мелких кристаллов	Все виды глинистых грунтов и пески мелкие и пылеватые
Сыпучемерзлые	То же	Несмерзшиеся, сыпучие, не изменяются при переходе отрицательных температур в положительные	Иногда видны редкие блестки кристаллов	Все виды крупнообломочных грунтов и пески крупные и средней крупности

Свойства монолитных скальных пород как оснований не меняются при изменении отрицательных температур на положительные. Следует только иметь в виду, что нередко полностью выветрившиеся скальные породы, являющиеся по существу уже глинистыми, в вечномерзлом состоянии имеют облик (структуру и текстуру) монолитных скальных пород.

Скальные трещиноватые и рассланцованные породы, трещины которых заполнены мерзлым грунтом или льдом, при оттаивании могут давать смещения отдельностей и связанные с этим осадки и деформации откосов карьеров.

Физические и механические свойства мерзлых грунтов зависят от их гранулометрического и минерального состава, строения (структуры и текстуры), влажности, характера катионов диффузного слоя, степени засоленности и температуры. Многолетние исследования этих свойств позволили разработать основы механики многолетнемерзлых грунтов и уточнить расчетные и нормативные их характеристики, используемые при проектировании и строительстве разнообразных

объектов в районах распространения вечной мерзлоты. Использование этих характеристик дало возможность существенно сократить стоимость строительства. Сохранность и безаварийная работа сооружений обеспечиваются в течение всего их эксплуатационного периода.

Мерзлые грунты представляют собой сложную четырехкомпонентную систему, включающую следующие составляющие: твердую (минеральные частицы грунта), пластично-вязкую (лед), жидкую (незамерзшую воду) и газообразную (пары воды и газа).

Твердая составляющая мерзлых грунтов по гранулометрическому составу классифицируется как и у талых, с добавлением для глинистых грунтов наименования пылеватые, если они содержат пылеватых фракций больше, чем песчаных и глинистых, вместе взятых.

Влажность. Часть воды в глинистых мерзлых грунтах всегда находится в незамерзшем состоянии. Количество незамерзшей воды зависит от гранулометрического и минерального состава грунта, характера катионов диффузного слоя, концентрации порового раствора и его химического состава, а главным образом от температуры и внешнего давления и находится в динамическом равновесии с этими основными факторами. Прочно связанная вода не замерзает даже при очень низких температурах (минус 70° С и ниже). Содержание незамерзшей влаги в глинистых породах при температуре минус 10° С может достигать 15—20% и более. Наличие незамерзшей воды в мерзлых грунтах и зависимость ее количества от температуры и давления обусловливают изменение их прочности, а тем самым и несущей способности, а также вязкости и пластичности, что следует учитывать в инженерных расчетах оснований сооружений, методика которых изложена в многочисленной специальной литературе.

Замерзшую воду разделяют на *лед-цемент* — кристаллы льда в грунте, с трудом различимые невооруженным глазом, и *лед-включения* — в виде линзочек, прослоев и прожилков. Различают следующие показатели влажности мерзлых грунтов: весовую, или суммарную, влажность $W_с$ — отношение массы всех видов воды (незамерзшей, льда-цемента и льда-включения) к массе сухого грунта; общую влажность W_0 — отношение всех видов воды к массе мерзлого грунта:

$$W_0 = \frac{W_с}{1 + W_с};$$

незамерзшую влагу $W_н$ — отношение массы незамерзшей воды к массе сухого грунта; льдистость $W_л$ — отношение массы льда обоих модификаций к массе сухого грунта:

$$W_л = \frac{W_с - W_н}{P_{сух}}.$$

В расчетах применяются также обычные значения влажности, принятые и для талых грунтов: $W_р$ — влажность на границе раскатывания или нижнего предела пластичности; $W_т$ — то же, на границе текучести; $I_п$ — число пластичности; $W_м$ — максимальная молекулярная влагоемкость.

Влажности $W_с$, $W_р$, $I_п$ и $W_м$ определяются обычными методами, принятыми в грунтоведении. Количество незамерзшей воды точно определяется калориметрическим методом (в инженерной практике обычно не производится), а в большинстве случаев принимается по графикам и таблицам, составленным местными мерзлотными станциями для характерных разностей грунтов.

Для различных расчетов введено понятие относительной льдистости i_0 мерзлого грунта — отношение массы льда к массе всей воды в единице объема грунта:

$$i_0 = \frac{W_л}{W_с}.$$

Степень заполнения пор льдом и незамерзшей водой определяют по формуле:

$$G = \frac{\gamma_с^м (1,09W_л + W_н)}{n}, \tag{78}$$

где $\gamma_с^м$ — объемная масса скелета мерзлого грунта; n — пористость в долях единицы.

Для удобства расчетов все виды влажности $W_с$, $W_н$, $W_л$, $W_р$, $W_т$, $I_п$, входящие в расчетные формулы, выражают в долях единицы, а не в процентах.

Объемная масса мерзлого грунта $\gamma_0^м$ определяется как частное от деления массы мерзлого грунта на его объем в ненарушенном состоянии. Объемную массу можно определить и расчетом по формуле:

$$\gamma_0^м = \frac{0,9 \cdot \gamma_ч (100 + W_с)}{90 + \gamma_ч (W_с - 0,1W_н)}, \tag{79}$$

где $\gamma_ч$ — удельная масса минеральных частиц.

Остальные обозначения известны, только влажность берется в процентах к весу сухой породы.

Объемная масса скелета мерзлого грунта $\gamma_с^м$ характеризует содержание твердых частиц в единице объема грунта естественного сложения и является показателем плотности сложения минеральных частиц в мерзлом грунте. Определяется $\gamma_0^м$ по формуле:

$$\gamma_с^м = \frac{\gamma_0^м}{1 + (W_н + 1,09W_л)} = \frac{\gamma_0^м}{1 + W_с}. \tag{80}$$

Пористость мерзлых грунтов, как и талых, также характеризует их плотность. Объем пор в единице объема берется не в процентах, а в долях единицы. Определяют пористость по формуле:

$$n_{м} = \frac{\gamma_{ч} - \gamma_{с}^{м}}{\gamma_{ч}}. \qquad (81)$$

При расчетах удобнее пользоваться коэффициентом пористости:

$$e_{м} = \frac{\gamma_{ч} - \gamma_{с}^{м}}{\gamma_{с}^{м}}. \qquad (82)$$

Степень просадочности мерзлых грунтов при оттаивании под заданным давлением без возможности бокового расширения определяется по формуле:

$$\delta_{пр} = \frac{h_{м} - h_{т}}{h_{м}} \qquad (83)$$

или

$$\delta_{пр} = \frac{\gamma_{с} - \gamma_{с}^{м}}{\gamma_{с}}, \qquad (84)$$

где $h_{м}$ и $h_{т}$ — высота образца в природном мерзлом состоянии и после оттаивания;

$\gamma_{с}$ и $\gamma_{м}^{с}$ — объемная масса скелета талого и мерзлого грунта.

Непросадочными грунтами являются: скальные, щебенисто-дресвяные, гравийно-галечные, песчано-галечные, песчано-гравелистые и песчаные (непылеватые), не содержащие заметных включений льда, немассивной текстуры, а также глинистые (непылеватые) при влажности $W_{с} < W_{р}$.

Просадочными грунтами являются: щебенисто-дресвяные, гравийно-галечные, песчано-галечные, песчано-гравелистые и песчаные массивной текстуры, содержащие незначительные включения льда.

Сильнопросадочные грунты — это грунты, содержащие значительные включения и прослойки льда (толщина слоев более 10 см), залегающие на глубине 10 м, слоистой и ячеистой текстуры, а также торфянистые грунты.

Сопротивление сдвигу грунтов зависит от нормального давления и длительности его действия, влажности, плотности, температуры и текстуры. В инженерных расчетах сопротивление сдвигу мерзлых грунтов характеризуется *эквивалентным сцеплением*, которое, по Н. А. Цытовичу, определяется в лабораторных или полевых условиях при помощи сферического шарика.

По результатам опыта эквивалентное сцепление мерзлых грунтов определяется выражением:

$$C_{экв} = 0{,}18 \frac{P}{\pi dh}, \qquad (85)$$

где P — нагрузка на шариковый штамп, 0,1 МПа; d — диаметр штампа; h — величина осадки (вдавливания) штампа, см.

Как указывалось, для инженерно-геологической характеристики мерзлых грунтов и всевозможных расчетов необходимо знать величину сцепления при мгновенной нагрузке $C_{мг}$ и при длительном действии нагрузки $C_{дл}$, которое в 4—8 раз меньше $C_{мг}$. Величину $C_{дл}$ определяют по результатам испытаний продолжительностью 8 ч с введением коэффициента 0,75:

$$C_{дл} = 0{,}75 C_{экв\,8}, \qquad (86)$$

Величина $C_{дл}$ используется для определения *предельной нагрузки* на мерзлый грунт, т. е. той нагрузки, при превышении которой в мерзлых грунтах возникают незатухающие деформации течения.

Сжимаемость мерзлых грунтов зависит от тех же факторов, что и сопротивление сдвигу. Количественно сжимаемость толщи характеризуется *коэффициентом сжимаемости* a_0 и *модулем общей деформации* E таким же, как у талых грунтов, и определяется методами, принятыми для талых грунтов (по результатам компрессионных испытаний или методом опытных нагрузок).

Удельное сопротивление резанию — отношение усилия резания к площади среза является важной характеристикой при применении землеройных механизмов при строительстве карьеров, для проходки траншей, выемок, котлованов и других сооружений. Наиболее высоким сопротивлением резанию обладают супеси и суглинки. По данным А. Н. Зеленина, суглинок с влажностью 20% в талом состоянии оказывает сопротивление резанию 0,5—0,7 МПа; при температуре минус 1° С усилие резания увеличивается до 5 МПа, а при минус 25° С — до 15 МПа. Увеличение сопротивления резанию грунтов при различных температурах следует учитывать при проектировании работ по разработке мерзлых грунтов различными механизмами.

§ 26. Просадочность лессовых грунтов

Под лёссами и лёссовидными грунтами понимаются породы, сформировавшиеся в условиях засушливого климата и обладающие одним общим свойством — недоуплотненной структурой, не отвечающей напряженному состоянию, в котором эти грунты находятся в условиях их естественного залегания. Недоуплотненность обусловливает значительную пористость этих пород, иногда более 50%. Помимо обычной пористости лёссовидным

грунтам и лёссам присуще также наличие крупных пор — макропор — размером иногда более 1 мм, хорошо видимых невооруженным глазом, обычно в виде вертикальных трубочек. Состоят лёссы и лёссовидные грунты преимущественно из фракций пыли и имеют характерную палево-желтую или желто-бурую окраску. В пределах СССР эти породы распространены на большей части Украины, на юго-востоке европейской части страны, в Закавказье, Средней Азии, Сибири и на Дальнем Востоке; на относительно небольших площадях встречаются они также в Белоруссии, в Центральных областях и в других местах. Схематическая карта распространения лёссовых грунтов на территории СССР приведена в СНиП «Строительная климатология и геофизика. Основные положения проектирования». Залегают лёссы и лёссовидные грунты на водоразделах в виде покрова, плащеобразно перекрывая более древние образования. Мощность их обычно составляет 15—20 м, иногда достигает многих десятков метров. Ввиду значительной распространенности лёссы и лёссовидные грунты во многих случаях служат основанием самых различных сооружений или средой, где осуществляется строительство дорожных выемок, каналов и других объектов.

В естественных условиях при малой влажности лёсс и лёссовидные грунты обладают значительной механической прочностью и устойчивостью в откосах, сохраняя почти вертикальное положение при высоте откоса иногда более 10 м. При увлажнении же их прочность существенно уменьшается и они доуплотняются; это свойство называется *просадочностью* и сопровождается необратимым изменением структуры грунтов.

Просадки лёссовых грунтов в основании сооружений обычно неравномерные, что обусловливает неравномерную осадку сооружений, величина которой колеблется от нескольких десятков сантиметров до 1,5—2 м и более. Неравномерность осадок сооружений приводит к образованию в зданиях трещин и других деформаций, а нередко и к разрушению сооружений. Следовательно, чтобы предохранить сооружения, возводимые на просадочных грунтах, от различных деформаций, необходимо заранее знать степень их просадочности, в соответствии с чем осуществляются различные защитные мероприятия, обеспечивающие устойчивость сооружений на весь срок их эксплуатации. Методика определения степени просадочности лёссовых грунтов изложена в СНиП II—15—74 «Нормы проектирования. Основания зданий и сооружений».

§ 27. Основные сведения об инженерно-геологических исследованиях горных пород

В СССР инженерно-геологические исследования являются обязательными при проектировании и строительстве всех объектов: железных и автомобильных дорог, жилых и промышленных зданий, гидротехнических сооружений, горных предприятий, карь-

еров по добыче полезных ископаемых и др. Это обусловливается тем, что инженерно-геологические условия оказывают в большинстве случаев решающее влияние на размещение и конструкцию проектируемых сооружений, технологию производства строительных работ и стоимость строительства.

Проектирование различных сооружений производится в несколько стадий: технико-экономического обоснования; составления проектного задания; составления рабочего проекта. В зависимости от вида и района намечаемого строительства, капитальности сооружений и других факторов число стадий и их наименование бывают различными.

На стадии ТЭД на основе составления технико-экономических и геологических данных по нескольким вариантам выбираются наиболее благоприятные участки для дальнейших исследований и последующего составления проектного задания. На этой стадии проектирования инженерно-геологическое обоснование дается на основе изучения имеющихся архивных материалов и литературных источников.

Инженерно-геологические исследования на стадии проектного задания выполняются в пределах выбранных участков с целью разработки наиболее рациональной технологии производства земляных работ и решения других вопросов. Освещение инженерно-геологических условий места строительства карьера или других объектов и их практическая оценка на данной стадии изысканий должны отличаться такой полнотой, чтобы в дальнейшем не было необходимости существенных изменений и переработки основных положений проектного задания.

Инженерно-геологические исследования на стадии рабочего проектирования проводятся только на окончательно выбранной стройплощадке. Основное внимание при этом обращается на изучение физико-механических свойств грунтов с целью уточнения расчетов прочности и устойчивости проектируемых сооружений, уточнения расчетов по устойчивости откосов, выемок и насыпей, бортов карьеров и т. п.

Геологоразведочные работы. При инженерно-геологических исследованиях геологоразведочные работы являются основным средством разведки и изучения грунтов на требуемую глубину. Проходка расчисток, канав, шурфов, шахт, штолен, квершлагов и бурение скважин позволяют детально установить геологическое строение исследуемой территории, наличие подземных вод, отобрать образцы грунтов и пробы воды для лабораторных исследований их свойств, провести полевые опытно-исследовательские работы (откачки, опыты на сжатие грунтов и др.), организовать стационарные наблюдения по режиму подземных вод.

Опытные работы. Основными видами полевых испытаний грунтов, проводимых при инженерно-геологических исследованиях, являются: пробные нагрузки в шурфах и скважинах;

динамическое и статическое зондирование; определение сопротивления грунтов сдвигу; определение плотности и влажности грунтов при помощи радиоактивных изотопов.

Пробные нагрузки. Пробные нагрузки в шурфах или скважинах позволяют определять сопротивление грунтов сжатию. Испытания проводятся при помощи специальных установок, передающих через штампы нагрузки на грунты. Испытание грунтов штампами наиболее достоверно. В соответствии с ГОСТ 12374—77 «Грунты. Методы полевого испытания статическими нагрузками» стандартными при испытаниях в шурфах являются штампы площадью 5000 см². Плотные пески и глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции рекомендуется испытывать штампами площадью 2500 см².

Для испытания грунтов пробными нагрузками в шурфах имеются установки различных конструкций: платформенного типа, с винтовыми анкерными связями, с упором в стенки шурфа. Испытания грунтов пробными нагрузками на глубинах более 3 м проводятся в скважинах. Для глубинных испытаний имеются установки различных конструкций: с нагружаемой подвесной платформой, с анкерными сваями и др.

Динамическое и статическое зондирование. В ближайшие годы инженерно-геологические исследования для проектирования и строительства различных сооружений в основном будет проводиться методом зондирования (см. § 23 и 24).

Определения сопротивления грунтов сдвигу. Испытания грунтов на сдвиг проводятся в скважинах с помощью лопастных установок. Испытания на сдвиг лопастными приборами позволяют определять: сопротивление сдвигу; структурную прочность или чувствительность; модуль деформации. Сущность лопастных испытаний состоит в том, что в грунт погружают лопастной прибор (иначе этот прибор называется крыльчаткой) и поворотом прибора вокруг оси определяют максимальный крутящий момент, характеризующий сопротивление грунтов сдвигу.

По окончании испытания, не извлекая прибора, производят пять-шесть полных оборотов крыльчатки и фиксируют значения крутящего момента, соответствующего прочности грунта в нарушенном состоянии, что дает возможность определить структурную прочность, или «чувствительность», $G_г$ глинистого водонасыщенного грунта по выражению

$$G_г = \frac{\tau_1}{\tau_2},$$

где τ_1 — сопротивление сдвигу грунта ненарушенной структуры; τ_2 — сопротивление сдвигу грунта, перемятого лопастями.

Чувствительность характеризует прочность структуры грунта. По степени чувствительности глинистые грунты подразделяются на малочувствительные ($G_г<4$), чувствительные ($4<G_г<8$) и сверхчувствительные ($G_г>8$).

Исследования свойств грунтов прессиометром. Перспективен метод обжатия грунтов в скважине, не требующий никаких анкерных устройств. Это осуществляется с помощью прибора, состоящего из трех камер — *прессиометра.* Все три камеры сделаны из резиновых эластичных манжет, надетых на стальные распорные втулки. Максимальное давление в рабочей камере достигает 0,7 МПа. Испытания можно проводить на глубинах до 15 м.

Исследования грунтов ведут в заранее пробуренной скважине, в которую опускают прессиометр с последующей накачкой в резиновые камеры воды, которые и передают давление (нагрузку) на грунты стенок скважин. По результатам испытания определяют модуль деформации грунта.

Определение плотности и влажности грунтов с помощью радиоактивных изотопов. Плотность и влажность являются важными характеристиками грунтов. Зная гранулометрический состав и определив плотность и влажность грунтов в условиях естественного залегания, можно решать все вопросы, возникающие при проектировании и строительстве карьеров, фундаментов зданий и сооружений III и IV классов. По СНиП II—15—74 по гранулометрическому составу и плотности крупнообломочных и песчаных грунтов устанавливаются все расчетные характеристики: угол внутреннего трения, сцепление и модуль деформации; то же отмечается для глинистых грунтов, но при влажности грунтов на границе раскатывания в проволоку (что также легко определяется на образцах нарушенной структуры).

Следовательно, во многих случаях инженерно-геологические исследования можно свести только к определению их гранулометрического состава и пределов пластичности, что легко осуществляется на образцах нарушенной структуры, а также плотности и влажности грунтов в их природном состоянии.

Для определения плотности используется процесс рассеяния гамма-излучения на электронах среды, в результате чего происходит частичная потеря энергии гамма-лучей и меняется направление их движения. Коэффициент ослабления гамма-излучения пропорционален плотности среды, через которую проходит излучение, что дает возможность использовать этот вид излучения для определения плотности грунтов. Рассеивающие свойства рыхлых грунтов по отношению к гамма-излучению зависят только от их плотности; химический состав грунтов при этом не оказывает никакого влияния. Искомую величину плотности находят по калибровочному графику, составляемому для данного плотномера, и эталону грунта, плотность которого известна. Характер графика не зависит от минерального и гранулометрического состава грунтов, их влажности и прочих свойств, а зависит только от их плотности.

Для определения естественной влажности грунтов используется нейтронное излучение. Нейтроны при излучении, обладаю-

щие высокой кинетической энергией, не имея заряда, свободно проникают через электронную оболочку атома и сталкиваются с его ядром. Передавая ядру часть своей кинетической энергии, нейтроны постепенно теряют скорость и в конце процесса она становится равной скорости теплового движения, которое присуще атомам всех элементов. Замедленные нейтроны поэтому называются *тепловыми*. Доля энергии, теряемой нейтроном при соударении с ядром атома, зависит от соотношения масс ядра и нейтрона. Если масса ядра намного превышает массу нейтрона, доля теряемой нейтроном энергии при соударении невелика и последний превращается в тепловой лишь в результате большого числа соударений. Если же массы ядра и нейтрона примерно равны, то нейтрон при соударении теряет в среднем половину своей энергии, и превращение их в тепловые происходит очень быстро. Грунты состоят из минералов, имеющих в своем составе элементы, ядра которых во много раз превосходят массу нейтрона. Только масса ядра водорода примерно равна массе нейтрона (соответственно 1,00812 и 1,00891). Поэтому замедляющая способность воды, всегда имеющейся в грунтах, в сотни раз превосходит замедляющую способность других элементов, входящих в состав грунтов. В свою очередь замедление быстрых нейтронов происходит тем интенсивнее, чем выше влажность исследуемого грунта. Результаты определения влажности грунтов нейтронным методом не зависят от температуры и степени минерализации воды, от фазового состояния воды (жидкая, твердая, парообразная), от минерального, гранулометрического и химического состава грунтов.

Для определения естественной влажности грунтов сконструированы приборы в виде гильз, в которых монтируются источники быстрых нейтронов (смесь полония с бериллием или радия с бериллием) и счетчик медленных (тепловых) нейтронов. Гильзу с датчиком и счетчиком помещают в стальную трубу, которую плотно вдавливают в исследуемый грунт. После получасового погружения в грунт влагомер извлекают из скважины и, используя специальные графики, определяют содержание в грунте влаги в процентах.

Глава 8

ОПОЛЗНИ И ДРУГИЕ ВИДЫ ДЕФОРМАЦИИ ОТКОСОВ

§ 28. Общие сведения о деформации откосов

В карьерах наблюдаются различные по форме и масштабам деформации откосов отдельных рабочих уступов и бортов, а также откосов отвалов, что нарушает нормальную деятельность горного предприятия. Для предотвращения деформаций откосов осуществляются всевозможные профилактические мероприятия.

Целесообразность и эффективность последних всецело зависит от того, насколько правильно предусмотрены возможные деформации рабочих и отвальных откосов и выяснены причины их возникновения. При ведении горных работ открытым способом особенно необходимо соблюдать общеизвестный принцип — дешевле и проще предупредить те или другие процессы и явления, вызывающие деформации откосов, чем бороться с их последствиями.

Наблюдающиеся в карьерах деформации подразделяются на следующие виды: оползни, обвалы, осыпи, сползание нависи откоса, скольжение откоса, размыв откоса, оплывание, суффозия, выпирание грунта. Наиболее распространенным видом деформации искусственных откосов и естественных склонов являются оползни.

§ 29. Оползни

Оползни — движение масс горных пород вниз по естественному склону или искусственному откосу под действием силы тяжести по ясно выраженной поверхности скольжения, связанное во многих случаях с деятельностью поверхностных и подземных вод. Оползни чрезвычайно распространены в природе и нередко проявляются в грандиозных масштабах.

Оползни в карьерах возникают под влиянием как общих факторов, так и горнотехнических: при несоответствии между высотой рабочих уступов в карьере и их крутизной или угла рабочего борта и физико-механическими свойствами пород, слагающих уступы, откосы деформируются. В карьерах оползни часто проявляются на откосах внутренних отвалов, если угол откоса при данной высоте отвальных масс превышает критический.

Оптимальные значения высоты уступов в карьерах определяются применяемыми землеройными механизмами, а углы откосов — расчетами, в основу которых кладутся показатели физико-механических свойств разрабатываемых пород. Следует только учитывать изменяемость показателей свойств пород во времени под влиянием различных причин. В основу расчетов кладутся наиболее низкие значения углов внутреннего трения и сцепления и наиболее высокие значения объмного веса, которые являются основными параметрами при расчете устойчивости откосов в карьерах.

Процессы, вызывающие оползни, обусловливаются сочетанием естественных и часто искусственных факторов, нарушающих условия устойчивости горных пород, слагающих естественный склон или искусственный откос. Основными из них являются: геоморфология склона (высота, крутизна, форма); геологическое строение склона (литологический состав пород, формы и условия залегания пластов, тектонические особенности склона); свойства пород, слагающих склон; гидрогеологические

условия склона, обусловливающие возможность проявления гидродинамического и гидростатического давления на породы: интенсивность размывающей деятельности поверхностных вод (речных, озерных, морских); интенсивность процессов выветривания, снижающих целостность и прочность горных пород, их измельчение, образование трещин; увеличение веса пород при их увлажнении осадками или при искусственном поливе; подрезка склона при строительстве дорог, каналов; отсыпка вблизи склона отвалов горных пород, шлаков, насыпей, строительство других объектов, нарушающих статическое состояние склонов; динамические воздействия (землетрясения от движущихся вблизи склона поездов, работающих поблизости механизмов, удары волн, взрывные воздействия при ведении горных работ); планировочные работы, увеличивающие крутизну склона.

Оползанию подвержены склоны, сложенные чередующимися водоупорными глинистыми и водоносными слоями либо только глинистыми породами. Оползание облегчается, если слои залегают с наклоном в сторону склона или в этом же направлении пересечены трещинами. Оползневые деформации склонов, сложенных глинистыми породами, нередко возникают спустя несколько десятилетий после устройства выемки. Последнее объясняется тем, что в глинистых породах сопротивление сдвигу обусловливается главным образом сцеплением, которое с течением времени под действием постоянной нагрузки уменьшается: это связано с процессами релаксации, видимым проявлением чего является ползучесть глин. Длительное существование пород на склонах в тех или иных условиях является весьма благоприятным фактором для проявления процессов ползучести и под влиянием сравнительно небольших напряжений. Следовательно, оползание на склонах, сложенных чередующимися песчано-глинистыми или чисто глинистыми породами, объясняется тем, что глинистым породам в наибольшей степени присуще свойство ползучести, т. е. в них проявляются непрерывные пластичные деформации (текучесть) при неизменной нагрузке.

Интенсивность ползучести (течения) глинистых пород зависит не только от давления, но и от физико-химических и химических процессов, которые снижают внутренние структурные связи в породах, а тем самым и их прочность. Последняя в глинистых породах существенно уменьшается в результате переменного увлажнения и высыхания, замерзания и оттаивания, нагревания и охлаждения, а также в результате длительного воздействия маломинерализованных вод. В конечном итоге сцепление глинистых пород уменьшается и создаются наиболее благоприятные возможности для проявления пластических деформаций в глинистых породах. Поскольку на естественных или искусственных склонах имеет место перепад давления, то свойство ползучести глинистых пород проявляется в полной мере.

В природных условиях все причины и факторы, способствую-

щие образованию на склонах оползневых процессов, проявляются в различном сочетании и тесном взаимодействии. Поэтому при инженерно-геологических исследованиях оползневых склонов, а также при ведении вскрышных и эксплуатационных работ в карьерах большое значение имеет выявление главнейшего фактора, для устранения которого следует затем проводить противооползневые мероприятия.

В карьерах оползанию и вообще деформации бортов и уступов способствуют также следующие факторы: недостаточность дренирования надугольных (надрудных) и подугольных водоносных горизонтов; крутые углы откосов рабочих уступов и отвалов или излишняя их высота; отсутствие, недостаточность или неправильное осуществление мероприятий по отводу поверхностных вод с площади поля карьера и с поверхности отвалов; влияние движущихся и вибрирующих механизмов и взрывных работ; неправильное ведение горных работ; отсутствие или недостаточность дренажных мероприятий в основании отвалов.

В наибольшей степени деформации рабочих уступов и внутренних отвалов, главным образом оползни, проявляются на углеразрезах, так как покрывающие уголь породы представлены песчано-глинистыми образованиями, сопротивление сдвигу которых относительно незначительное, к тому же трение и сцепление в подобных породах может очень быстро уменьшаться под влиянием увлажнения и выветривания. Формы оползней на угольных карьерах, масштабы их проявления и интенсивность самые разнообразные.

Меры борьбы с оползнями. При проведении противооползневых мероприятий в первую очередь необходимо дренировать водоносные породы в кровле угольного (рудного) пласта и снизить напорные уровни в подугольных (подрудных) водоносных горизонтах до почвы угольного пласта. Дренажные мероприятия необходимо осуществлять с опережением по фронту вскрышных работ не менее чем на 6 месяцев с целью достижения максимального обезвоживания пород, слабо отдающих воду (супесей, суглинков и некоторых глин).

Отвод поверхностных вод также является одной из первоочередных задач при ведении работ открытым способом. Виды дренажных мероприятий и методика их проведения подробно изложены в главе 10.

Предельную высоту вскрышных и отвальных уступов и предельные углы откосов следует устанавливать с учетом геологического строения месторождения (характер напластования, наклон пластов, состав их, сложение, текстурные особенности и пр.). При этом следует детально изучить физико-механические свойства пород , слагающих склоны, включая и небольшие по мощности пропластки. Необходимо также учитывать харак-

тер работы применяемых механизмов и их рабочее положение относительно бровок откосов.

В некоторых случаях полезно оставлять в основании склонов на каждом уступе контрфорсы и целики угля. Это оправдало себя на некоторых угольных карьерах Урала, где смещение пород подугольной толщи происходит так медленно, что при надлежащей организации работ последние опережали движение оползающих масс. В случае, когда на отдельных участках оползни затрудняли работу, для борьбы с ними применялся шагающий экскаватор, который был установлен на оползающей массе и переносил породы из зоны оползания обратно на склон. Подобный способ борьбы с оползнями сугубо локальный и не всегда эффективен, так как в большинстве случаев увеличение веса сползающих масс влечет за собой активацию оползневых процессов.

Основные мероприятия, обеспечивающие устойчивость вскрышных уступов на карьерах, сводятся к следующему:

1) надугольные водоносные горизонты должны быть осушены полностью, а напоры подземных вод в подугольных песках снижены до почвы или (еще лучше) на 1—2 м ниже угольного пласта;

2) на территории карьеров не следует допускать застаивания поверхностных вод;

3) откосы вскрышных уступов и их высота должны определяться расчетами с учетом геологического строения уступа и физико-механических свойств пород, слагающих данный откос. При расчетах устойчивости откосов особое внимание следует уделять контактным зонам, сложенным породами с различными физико-механическими свойствами (глины, пески, супеси и суглинки).

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что основным средством борьбы с оползнями является их предупреждение. Борьба с уже возникшими оползнями в условиях ведения работ открытым способом при постоянном перемещении выемочных бортов, движении вблизи оползающих масс поездов, экскаваторов и других механизмов является более сложной задачей, требующей значительных средств и затрат времени.

Мероприятия по борьбе с деформациями отвалов отличаются от мероприятий, разработанных для откосов с нарушенной структурой. Главнейшим требованием, предъявляемым к этим мероприятиям, является дешевизна и простота их осуществления. Выбор способа борьбы с деформациями отвалов должен осуществляться в соответствии с их строением и с учетом причин, вызывающих деформацию.

Высота отвалов вскрышных пород ограничивается в зависимости от вида пород, климатических условий, веса механизмов и типа отвалов. При высоте отвалов, превышающей допу-

стимую для данных условий, они должны располагаться уступами (ярусами).

Предельная крутизна отвального откоса должна определяться расчетом с учетом физико-механических свойств отвальных пород, которые образуются в результате складирования пород вскрыши.

Необходим отвод поверхностных дождевых и талых вод с поверхности отвалов и уступов; недопустим приток поверхностных вод к отвалам со стороны прилегающих территорий.

§ 30. Суффозионные процессы

Под суффозией понимается вынос движущейся подземной водой мелких частиц из пород, слагающих склон, что приводит к оседанию поверхности и деформации склона. Этот вид суффозии называется механической. Механическая суффозия может проявиться только при соответствующем механическом составе и структуре песков и наличии бокового гидродинамического давления на склоне.

Гидродинамическое давление подземных вод играет значительную роль в деформации искусственных откосов и естественных склонов.

Так как с приближением к подошве откоса гидравлический уклон возрастает, то процесс суффозии начинает проявляться в первую очередь у основания откосов или склонов, что увеличивает возможность проявления и возникновения оползней и других деформаций откосов.

§ 31. Характеристика других видов деформации откосов

Обвалы отличаются от оползней быстротой смещения пород и отсутствием ясно выраженной поверхности скольжения. Обычно они сопровождаются опрокидыванием пород и их раздроблением. Обвалы наблюдаются при разработке карьеров методами гидромеханизации, а также при чрезмерной высоте или крутизне уступа, не соответствующей прочности разрабатываемых пород.

Осыпи представляют собой перемещение по откосу масс несвязанных грунтов. Они наблюдаются на склонах свеженасыпанных отвалов и существенного значения при разработке карьеров не имеют.

Выдавливание откоса или части его вследствие пластических деформаций грунта под давлением вышележащих земляных масс-отвалов часто наблюдается при отсыпке пород на торфянистый или болотный грунт, а также при наличии в откосе глинистых пород, находящихся в пластичном или текучем

состоянии. В результате выдавливания грунта отвалы оседают и смещаются, особенно при скоплении воды у их основания.

Нависи образуются на рабочих и отвальных откосах. На рабочих откосах они отмечаются в забоях, где работают различные механизмы. Так, например, зубья ковша, проходя поверхность забоя по кривой, подрабатывают верхнюю кромку уступа, в результате чего создаются нависи.

На откосах отвальных уступов нависи образуются при разгрузке вагонов и иногда при работе отвальных экскаваторов. Размеры нависей особенно значительны при отсыпке глинистых пород; при отсыпке рыхлых песков они обычно невелики. В дальнейшем нависи легко соскальзывают по откосу.

На зависающем откосе нельзя настилать рельсовые пути или допускать: передвижение механизмов, так как дополнительная нагрузка может вызвать катастрофическое оползание нависи.

Скольжение откоса наблюдается при отвальных работах, когда отсыпаются песчано-глинистые породы. Сброшенная порода свободно перемещается по склону, причем поверхность откоса как бы «смазывается» более мягкой глинистой породой, особенно когда последняя имеет повышенную влажность. В результате скольжения происходит смещение значительных масс пород, насыпанных за более или менее продолжительный срок. Скольжению откоса способствует вода, попадающая на глинистую поверхность.

Вода (подземная и атмосферная) причиняет чрезвычайно много хлопот карьерному хозяйству. В случае неорганизованного отвода воды после продолжительных, особенно интенсивных дождей вода размывает откосы рядом каналообразных промоин с крутыми стенками, вследствие чего они обрушаются и местами оползают.

Оплывание — деформирование раздельнозернистых и слабосвязных пород в форме течения наподобие вязкой жидкости; деформирование происходит в результате увлажнения или вибрации либо того и другого вместе.

Неустойчивость грунтов как несущего основания. Транспортные и землеройные механизмы передают на грунты основания значительные нагрузки. Если несущие свойства грунтов в их естественном состоянии не соответствуют этим нагрузкам или же ухудшаются в результате увлажнения, происходит уплотнение грунта, влекущее за собой изменение профиля пути, что приводит к перерывам в работе землеройных механизмов.

§ 32. Понятие о методах оценки устойчивости склонов

Равновесие пород, слагающих естественные и искусственные склоны, зависит от сочетания многочисленных естественных и искусственных факторов. Оценка устойчивости склона представля-

ет собой очень сложную задачу. В практике исследований и проектирования разработаны следующие основные способы оценки устойчивости естественных и искусственных склонов: 1) нормативных данных; 2) инженерно-геологических аналогий; 3) расчетные механико-математические.

Способ нормативных данных. Данный способ широко применяется при оценке устойчивости искусственных откосов. Основан он на результатах многолетних наблюдений за поведением откосов в породах различных типов, работающих в разных условиях (сухие откосы, подводные, откосы насыпей, карьеров, траншей и т. п.). Эффективность применения способа нормативных данных зависит от правильности определения состава пород, слагающих склоны, их физико-механических свойств и условий работы склона, в соответствии с чем устанавливается предельный угол заложения, обеспечивающий устойчивость откоса. Способ нормативных данных является разновидностью метода инженерно-геологических аналогий. В литературе приводятся фактические углы откосов, уступов и бортов на различных карьерах страны.

Способ инженерно-геологических аналогий. При использовании этого способа учитываются: физико-механические свойства пород, слагающих склоны, и изменение этих свойств во времени; геолого-литологическое и геоморфологическое строение склонов; обводнение пород и роль поверхностных и подземных вод в разрушении склонов; влияние климатических условий на устойчивость склонов; геологическая история формирования склонов; влияние современных геологических процессов на состояние склонов; эффективность примененных защитных мероприятий, обеспечивающих устойчивость склонов. Сопоставляя все эти данные проектируемого карьера с данными действующего карьера, где природные условия аналогичные, получают соответствующую оценку условий его устойчивости в процессе будущей эксплуатации. При правильном применении способа аналогий надежность его очень высока.

Механико-математические способы расчета. Расчетные методы более или менее успешно используются пока только для оценки степени устойчивости склонов, сложенных песчано-глинистыми породами. Успех применения расчетных методов оценки устойчивости склонов зависит: от выбора расчетной схемы, наиболее полно соответствующей основным природным особенностям изучаемого склона; от объективного выбора расчетных показателей, характеризующих сопротивление пород сдвигающим усилиям в состоянии наименьшей прочности; от правильного выбора метода расчета. В настоящее время используется множество расчетных методов для оценки устойчивости склонов — метод многоугольника или метод предельно напряженного состояния, комбинированные методы [5, 10, 12, 23].

Широкое распространение получили графоаналитические методы, отличающиеся простотой и универсальностью; поверхность обрушения при этом принимается круглоцилиндрической. Решение задачи на устойчивость откосов сводится к нахождению такой поверхности скольжения, при которой коэффициент запаса на устойчивость является минимальным при заданном угле и высоте откоса.

Метод круглоцилиндрической поверхности в условиях, когда в массиве нет согласно падающих поверхностей ослабления, даст достаточную точность расчета.

В последнее время широко разрабатываются методы моделирования. На моделях решаются разнообразные задачи: при различной высоте уступов и различных углах заложения откосов; при различном положении и ширине берм, при различной трещиноватости и др., что дает возможность установить оптимально выгодные по экономическим и техническим показателям варианты.

§ 33. Общее понятие о плывунах

В плывунном состоянии могут находиться грунты самого различного гранулометрического состава, способные при встряхивании, вибрировании и других внешних механических воздействиях расплываться и течь вместе с содержащейся в них водой. Поэтому плывун не представляет собой определенный тип пород. *Плывун* — это состояние рыхлой горной породы, насыщенной водой. В подавляющем большинстве случаев плывунные свойства присущи очень мелким пескам, включающим некоторое количество пылеватых и глинистых фракций и содержащим органические коллоиды.

Крупнозернистые грунты (средне- и крупнозернистые пески, галечники, иногда даже гравий) в плывунное состояние могут перейти только при наличии значительной разности уровней подземных вод в горной выработке или котловане и вне их, когда проявляется взвешивающее действие гидродинамического давления при наличии критического градиента.

У некоторых пород плывунные свойства весьма стойкие, у других (при осуществлении некоторых мероприятий по снижению их влажности) — они не проявляются. Это дало основание А. Ф. Лебедеву разделить плывуны на два типа: *истинные плывуны,* когда наряду с наличием гидродинамического давления существенное значение в проявлении плывучести играют коллоидные частицы; *псевдоплывуны*, или ложные плывуны, когда фактором, обусловливающим проявление плывучести, является гидродинамическое давление.

В проявлении свойств плывучести у истинных плывунов большое значение имеет тиксотропия, т. е. когда грунт под действием внезапно приложенной нагрузки или встряхивания разжи-

жается, а затем по истечении некоторого периода покоя вновь превращается в связную массу рыхлой структуры.

Для оценки способности песков переходить в плывунное состояние служит ряд признаков: наличие в песках минеральных коллоидов, особенно монтмориллонитового состава; наличие органических веществ; соотношение между двумя преобладающими фракциями, превышающее 20 $(D:d\geqslant 20)$, что облегчает возможность суффозии и последующий переход песков в плывунное состояние; слабая водоотдача песков; прогноз изменения гидрогеологических условий в разные стадии производства строительных работ, что необходимо для предвидения проявления гидродинамического давления, часто являющегося основной причиной проявления плывучести песков (ложных плывунов).

Мероприятия по борьбе с плывунами. Основным методом для предотвращения проявления плывучести в ложных плывунах при проходке горных выработок является осушение водонасыщенных песков; способы осушения подробно разбираются ниже.

Наличие истинных плывунов вносит значительные осложнения при ведении горных работ подземным и открытым способами, при отрывке котлованов, проведении каналов, устройств выемок и т. п. Существуют многочисленные способы борьбы с плывунами.

В зависимости от видов строительства, геолого-гидрогеологических условий и типа плывунов применяются следующие специальные способы, гарантирующие успешное осуществление строительных работ в плывунах: 1) забивная и опускная крепь (при проходке стволов шахт); 2) кессонный способ проходки; 3) шахтобурение.

При мощности плывуна до 1 м и отсутствии гидростатического давления, а также при наличии почвы, куда могут быть забиты шпунтины, с успехом можно применять *косую забивную крепь.*

При мощности плывуна 2—4 м, залегании его на глубине менее 30 м, отсутствии гидростатического давления и при подстилании плывуна водонепроницаемыми глинистыми породами может быть применена *прямая забивная крепь* из дерева.

При мощности плывуна 8—10 м и при тех же условиях применяется металлический шпунт.

При мощности плывуна до 10—15 м, гидростатическом давлении до 158—178 кПа и отсутствии твердых прослоев в породах и валунов применяется *опускная крепь* при условии, что глубина погружения и длина трущихся о породу стенок опускной крепи не превышает 20—25 м. Погружение опускной крепи в плывун происходит за счет ее собственного веса с приложением добавочной нагрузки или при помощи домкратов. Материалом для опускной крепи служат кирпич, бетонит, железобетон, реже чугунные тюбинги.

Суть *кессонного способа проходки* заключается в следующем. В герметически закрытую так называемую рабочую камеру с открытым дном нагнетается воздух, который отжимает воду из камеры. Нагнетание воздуха производится под давлением, достаточным для преодоления сопротивления водяного столба подземных вод вне камеры кессона, что исключает возможность поступления воды в камеру через открытое ее дно. Кессонный способ дает полную гарантию проходки стволов шахт в плывунах без всякого ослабления грунтов под наземными зданиями и сооружениями.

Способ проходки стволов шахт *шахтобурением* разработан Г. И. Маньковским и его сотрудниками. Этот способ с успехом применяется при проходке стволов в слабых неустойчивых, а также в крепких, но сильно обводненных породах. Имеются буровые установки для проходки стволов шахт диаметром более 6 м и глубиной в десятки и сотни метров.

§ 34. Деформации грунтов в основании сооружений

Различные сооружения — промышленные, гражданские здания, насыпи, опоры транспортно-отвальных мостов и другие — оказывают на горные породы, являющиеся основанием сооружений, дополнительные давления от долей до (0,3—0,5) 0,1 МПа, а в отдельных случаях (высотные здания, опоры мостов, гравитационные плотины) до (1,5—2,5) 0,1 МПа и более. Дополнительное давление от сооружений действует на грунты основания как постоянная статическая вертикальная нагрузка, под влиянием которой толща пород сжимается, что приводит к оседанию поверхности земли и построенных на ней сооружений.

Величина осадок сооружений зависит: от физико-механических свойств грунтов; от величины внешнего давления (веса сооружений на единицу площади основания); от размера опор в плане; от формы опор. В настоящее время исходят из представления о совместной работе сооружения с грунтами основания, которые в совокупности представляют собой единую динамическую систему. Если сооружение гибкое, то оно приспосабливается к деформациям основания и никаких вредных напряжений в его элементах не возникает, когда деформации грунтов основания не превышают предельных значений. Жесткие сооружения ни при каких условиях не искривляются и поэтому они сами выравнивают деформации сооружения, приводя их к общей средней осадке (разумеется, при условии, если деформации грунтов основания не превышают предельно допустимых). Сооружения не вполне гибкие и не вполне жесткие следуют за деформациями основания лишь частично и лишь частично эти деформации выравнивают; следовательно, в элементах таких сооружений возникают дополнительные напряжения,

определить которые возможно только при совместном рассмотрении их общих деформаций (грунтов и сооружений).

Наибольшая сжимаемость присуща грунтам глинистого состава и слабым водонасыщенным грунтам. Осадки сооружений, в основании которых залегают подобные грунты, часто сопровождаются выпором грунтов из-под подошвы опор, что приводит к значительным деформациям сооружений и часто к их аварии. Большое значение имеет развитие осадок сооружений во времени, воздвигнутых на глинистых грунтах, которые могут протекать в течение ряда лет и даже десятилетий. Процесс сжатия грунтов во времени называется *консолидацией.*

Для сооружений, возводимых на любых грунтах, опасны не абсолютные величины осадок, а их неравномерность. Особенно значительные неравномерные осадки наблюдаются в сооружениях, в основании которых залегают грунты со сложной текстурой — косослоистые, линзовидные, при наличии в грунтах валунов различных размеров и т. п. В связи с неравномерностью осадок сооружений в Советском Союзе правилами проектирования в качестве обязательного принят расчет основания по предельной деформации, под которой понимается такая деформация грунтов основания, превышение которой приводит надфундаментную часть сооружения в состояние, не удовлетворяющее требованиям эксплуатации.

§ 35. Пучение, выпирание дна котлована и прорыв подземных вод в котлован

Подобные явления возможны в том случае, когда в котлованах вскрываются глинистые водоупорные породы, перекрывающие нижележащий водоносный горизонт с напорной водой. В зависимости от величины гидростатического давления, испытываемого глинистыми породами на дне котлована, возможно горбообразное вздутие дна траншеи, выемки или котлована — пучение (не надо смешивать этот вид пучения с морозным, описанным выше) и даже выпор дна с прорывом подземных вод в котлован. Следовательно, основной причиной подобных процессов является наличие соответствующих гидрогеологических условий.

Количественно возможность пучения и выпора дна котлована при незначительной его ширине (несколько метров) и большой протяженности определяется различными методами, изложенными в специальной литературе. Н. Г. Паукером предложена следующая формула для определения допустимого гидростатического напора $h_{пр}$, предотвращающего выпор и прорыв подземных вод из подошвы котлована:

$$h_{пр} = \frac{2\sigma M}{\eta \gamma_в l_э} + \frac{\gamma_0}{\gamma_в} M, \tag{87}$$

где σ — временное сопротивление глинистых пород на прорыв их водой, определяемое в специальном приборе, Н/м²; M — расчетная мощность водоупора, м; $\gamma_в$ — объемная масса воды, Н/м³; γ_0 — объемная масса водоупорной породы, Н/м³; $l_э$ — эквивалентная ширина траншеи, выемки или котлована, определяемая по выражению $l_э = \frac{a \cdot l}{a + l}$, где a—протяжение котлована, м; l — ширина котлована, м; η — коэффициент запаса, принимаемый равным 3—4.

При значительной ширине котлована возможность прорыва напорных вод в него определяется по формуле:

$$h_0 \gamma_в < \gamma_0 M, \tag{88}$$

где h_0 — гидростатический напор на подошву водоупора в естественных условиях, м.

Основным мероприятием, устраняющим пучение и выпор дна котлована и прорыв воды в него, является снижение напора в напорном водоносном горизонте до безопасных величин, что устанавливается соответствующими гидрогеологическими расчетами.

РАЗДЕЛ III

ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глава 9

ЭЛЕМЕНТЫ ГОРНОРУДНИЧНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

§ 36. Общие сведения об обводненности месторождений полезных ископаемых

Подземные и поверхностные воды, проникающие в горные выработки, называются *рудничными*, или *шахтными*.

Обводненность рудных месторождений зависит главным образом от водообильности пород, вмещающих рудное тело, и бывает значительной при наличии среди покровных отложений водоносных обломочных или карбонатных карстующихся пород. Большие притоки в выработки могут поступать при расположении месторождений вблизи открытых водотоков, в пределах речных долин, вблизи крупных массивов карбонатных пород.

На угольных, особенно буроугольных, месторождениях водоносны обычно один или несколько надугольных и подугольных пластов песка, песчаника или известняка, содержащих напорные, реже безнапорные воды.

Количество откачиваемой из горных выработок воды обычно в несколько раз превышает количество добываемого полезного ископаемого и в отдельных случаях достигает огромных размеров.

Большие осложнения при вскрытии и эксплуатации месторождений создают плывуны. При прорывах плывунов в горные выработки они заносят штреки на десятки метров, а иногда выводят из строя предприятие.

Приток воды в шахту или карьер характеризуется *коэффициентом водообильности*, представляющим собой отношение количества откачиваемой воды (в кубических метрах) к количеству добытого полезного ископаемого (в тоннах) за тот же промежуток времени (за год, месяц, сутки). Как показали исследования, проведенные М. В. Масленниковым по 12 угольным карьерам, значения коэффициентов водообильности находятся в пределах 0,3—10,7 (преобладают 0,6—3,4).

Коэффициенты водообильности месторождений зависят от их обводненности. В шахтах украинской части Донбасса, где кровля и почва угля представлены глинистыми сланцами, песча-

никами и прослоями известняка, средний коэффициент водообильности в 1976 г. был равен 3,3, а средний приток — 130 м³/ч. Месторождения Подмосковного бассейна характеризуются высокой водообильностью: средний коэффициент водообильности для бассейна равен 10,5, для отдельных шахт 0,4—38. Водоприток чаще равен 50—200 м³/ч, а иногда более 300 м³/ч.

Очень водообилен Кизеловский каменноугольный бассейн, особенно те шахты, притоки которых связаны с карстовыми водами. В отдельные годы средний коэффициент водообильности по бассейну был 8,8, а в 1965 г. по 24 шахтам составлял 11,2.

Весьма водообильны месторождения Северо-Уральского бокситового района (СУБР), приуроченные к полосе сильно закарстованных и тектонически нарушенных известняков. Среднегодовые притоки в шахты этого бассейна достигали 10 000 м³/ч, а в отдельные периоды 17 000 м³/ч.

В Криворожском железорудном бассейне, где водоносны рудные залежи и вмещающие их породы, коэффициент водообильности колеблется от 0,1 до 37, водоприток в отдельные шахты достигает 150—600 м³/ч, а при прорывах — более 6000 м³/ч. Водопритоки в отдельные карьеры горно-обогатительных комбинатов изменяются от 50 до 1000 м³/ч.

Оценка обводненности месторождения коэффициентом водообильности является неполной, так как его величина зависит не только от гидрогеологических условий, но и от системы разработки и уровня механизации добычи полезного ископаемого. По мере повышения степени механизации добычи и увеличения годовой производительности предприятия коэффициент водообильности карьера и шахты уменьшается, в то время как общий приток увеличивается. Расширение фронта горных работ при высокой технической вооруженности также снижает коэффициент водообильности.

Водоприток в карьеры можно оценивать величиной притока на 1 км длины карьера, который обычно изменяется от 200 до 500 м³/ч, а в сильнообводненных карьерах (например, в КМА) может достигать 1000—2000 м³/ч.

Капитальные затраты и эксплуатационные расходы на откачку воды и борьбу с ней в шахтах и карьерах повышают себестоимость добываемого полезного ископаемого. Увеличение себестоимости происходит нередко из-за пониженной в 2—3 раза производительности труда в мокром забое и высокой влажности добываемого полезного ископаемого. Затопление шахты или отдельных выработок приносит большие убытки. Водоотлив, особенно в глубоких шахтах с агрессивной водой, сильно влияющий на срок работы насосного оборудования и трубопроводов, составляет одну из основных статей расходов при эксплуатации месторождения.

Для водоотлива из шахт используются центробежные насосы производительностью до 1000 м³/ч. Для откачки воды в сква-

жинах с поверхности в шестидесятые годы получили применение глубинные центробежные насосы непогружного типа (АТН и НА) производительностью 18—400 м³/ч с высотой подъема до 100 м и погружные насосы (АП) производительностью 5—200 м³/ч с высотой подъема 50—100 и 280 м, а в последнее время насосы (ЭЦВ) той же номинальной подачи с высотой подъема 50—400 м. Осушение плывунов, песчано-глинистых и иловатых пород, отличающихся слабой водоотдачей, на небольшую глубину проводится иглофильтровыми установками.

§ 37. Факторы, влияющие на обводненность месторождения

На обводненность месторождений оказывают влияние естественноисторические условия развития района, искусственно созданные факторы, а также система разработок.

К основным природным факторам, определяющим обводнение месторождений, относятся: 1) климат; 2) многолетняя мерзлота; 3) рельеф местности; 4) просачивание воды из поверхностных водотоков и водоемов; 5) обнаженность коренных пород и состав покровных слабопроницаемых отложений; 6) литологический состав вмещающих пород; 7) тектоника района; 8) изменение водообильности с глубиной горных выработок; 9) формы погребенного рельефа.

К искусственно созданным факторам относятся: 1) влияние старых затопленных выработок; 2) влияние незатампонированных разведочных скважин; 3) неправильное ведение горных работ.

В задачу геологических и гидрогеологических исследований при разведке месторождений входит выяснение основных факторов, определяющих обводненность месторождения.

Климат. Величина притока воды в горные выработки при небольшой глубине залегания полезного ископаемого чаще всего зависит от количества выпадающих атмосферных осадков, являющихся основным источником питания подземных вод. Осадки, особенно в период снеготаяния, проникают в горные выработки, расположенные на глубине 100—200 м от поверхности, обычно через несколько дней. В карьеры и внутренние отвалы осадки поступают сразу после их выпадения непосредственно на участке карьера и на площади водосбора в виде поверхностного стока.

Влияние атмосферных осадков на обводненность месторождения также подтверждается увеличением притока в выработки в период выпадения осадков и весеннего снеготаяния на 30—40%, а иногда на 200—300% по сравнению со среднегодовым притоком.

Величина испарения влаги на открытом воздухе оказывает влияние на степень влажности вскрытого пласта угля в карье-

ре и водосодержащих пород вскрыши. Интенсивность испарения зависит от температуры воздуха, его влажности и движения, т. е. от климатических условий.

2) Многолетняя мерзлота. Расположение месторождения полезного ископаемого в районе многолетней мерзлоты определяет специфические условия его разработки. При этом необходимо обращать особое внимание на изучение температурного режима горных пород и подземных вод и на наличие в вечномерзлом слое высокоминерализованных вод в жидком состоянии. В зоне многолетней мерзлоты необходимо учитывать возможность проникновения подземных вод в горные выработки после отепления пород под воздействием горных работ. Важно выяснить наличие таликов и взаимосвязь надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных вод.

3) Рельеф местности. Приток воды в горные выработки и степень водообильности зависят от высотного положения поля карьера и изрезанности его овражно-балочной сетью. Чем больше расчленена поверхность, тем больше при прочих равных условиях обводненность месторождения и тем больше увеличивается весенний приток по сравнению со среднегодовым (с 20—30 до 100—200%).

Наиболее обводнены горные выработки, расположенные под речными долинами. Слабообводненными являются месторождения Средней Азии, Казахстана, Кавказа и других районов, расположенных в пределах высокогорного интенсивно расчлененного рельефа.

4) Просачивание воды из поверхностных водотоков и водоемов. Источником обводненности горных выработок нередко являются открытые водотоки и водоемы, расположенные вблизи или непосредственно на месторождении. В этом случае происходит фильтрация воды непосредственно из открытых водотоков или через аллювиальные отложения, являющиеся более водопроницаемыми, чем пески. Просачивание воды значительно увеличивается в периоды весенних паводков.

С увеличением глубины карьера приток воды из поверхностных водотоков, как правило, повышается. С углублением средних и глубоких шахт, наоборот, влияние поверхностных вод — снижается.

Характерным примером месторождения, где угленосная толща обводняется за счет фильтрации речных вод через аллювиальные отложения, служит Богословское месторождение. Разработка Богословского месторождения ведется открытым способом значительно ниже уровня воды в р. Турье и уровня подземных вод в известняках, подстилающих угольную толщу. Прорвавшиеся в карьере № 3 воды девонских известняков при дебите около 3500 м^3/ч быстро наполнили пониженную часть карьера длиной 3 км и шириной 250—300 м. До момента снижения притока в карьер до 500—600 м^3/ч было откачено око-

ло 8—10 млн. м³ воды, уровень которой за это время понизился на 10 м. При изучении причин прорыва была установлена связь воды девонских известняков с водами р. Турьи.

5) Обнаженность коренных пород и состав покровных слабопроницаемых отложений. Если на месторождении отсутствуют мощные водоносные горизонты, то величина притока в горные выработки зависит от степени обнаженности коренных водопроводящих пород и от мощности покровных суглинисто-глинистых отложений, изолирующих пласт полезного ископаемого от атмостферных осадков. При мощности покровных отложений более 5 м инфильтрация через них поверхностных вод отсутствует.

Питание подземных вод обычно происходит в местах выхода на поверхность земли водопоглощающих коренных пород, содержащих пласт полезного ископаемого. Район, где выходы коренных пород, поглощающих поверхностные воды, составляют более 1% общей площади месторождения, считается обнаженным. Обводненность месторождения прямо пропорциональна обнаженности пород при одинаковой их трещиноватости.

6) Литологический состав вмещающих пород. Меньше обводнены месторождения, сложенные кристаллическими и осадочными сцементированными породами (сланцами, роговиками, кварцитами, эффузивами, гранитами, песчаниками, аргиллитами, алевролитами, прослоями известняка и угля). Вода в них движется по трещинам. Значительной обводненностью характеризуются месторождения, приуроченные к закарстованным известнякам и другим легкорастворимым породам.

Наиболее тяжелые гидрогеологические условия наблюдаются на месторождениях, где пласт полезного ископаемого залегает между рыхлыми водопроницаемыми породами и сильно обводнен. Таковы гидрогеологические условия месторождений бурого угля Днепровского и Подмосковного бассейнов. При вскрытии водоносных песков вместе с водой в выработки поступают и водосодержащие пески, что нарушает устойчивость пород и горных выработок, вызывает оползни, обрушения и т. п. Крепь подземных выработок в этих условиях испытывает горное давление, нередко во много раз больше, чем в скальных породах.

При залегании в кровле и почве пласта полезного ископаемого выдержанных по мощности и простиранию глин водообильность месторождения обычно небольшая и притоки постоянны во времени. При встрече горными выработками песчаных линз без проведения предварительных осушительных мероприятий может произойти прорыв воды в выработки и занос их плывуном. Повышенными притоками воды и прорывами плывунов характеризовалось Ленгерское буроугольное месторождение.

7) Тектоника района. Зоны тектонических нарушений в сцементированных породах являются местами сосредоточенно-

го, иногда катастрофического поступления воды в горные выработки. Так, на одном из рудных месторождений Казахстана при вскрытии квершлагом зоны главного надвига приток трещинно-карстовых вод резко увеличился и достиг 400 м³/ч.

По зонам тектонических трещин может осуществляться связь пластовых водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водотоками и водоемом. Даже при отсутствии связи с поверхностными водами из тектонических трещин в течение длительного периода в выработки может поступать большое количество воды. Зоны тектонических нарушений редко являются отдельными водоносными горизонтами, изолированными от смежных плотных пород.

Наряду с этим тектонические нарушения в результате смещения пород нередко служат водоупорными экранами, изолирующими поступление воды из соседних блоков месторождения.

(2) Изменение водообильности с глубиной горных выработок. В зависимости от геологических и гидрогеологических условий приток воды и коэффициент водообильности изменяются с глубиной. В Донбассе максимальные притоки в шахты наблюдаются обычно на глубине 150—350 м от поверхности; с увеличением глубины рабочих горизонтов притоки к ним уменьшаются, но общий приток с углублением шахты обычно увеличивается. На одном из рудных месторождений Урала, по данным И. И. Яковлева, наибольшие водопритоки отмечаются на глубине 70—80 м; с увеличением глубины притоки заметно уменьшаются.

Уменьшение водопритока (коэффициента водообильности) с глубиной объясняется снижением степени трещиноватости, уменьшением пористости и водопроницаемости скальных пород, заполнением трещин глинистым материалом.

В шахты Североуральских бокситовых рудников притоки с глубиной увеличиваются. При освоении горизонтов +100 и +70 м приток составлял 4000—5000 м³/ч, при освоении более глубоких горизонтов и снижении напора на 100—120 м средний приток возрос до 8300 м³/ч, а затем до 11 000 м³/ч. Более 60% притока в шахты СУБР составляют воды, инфильтрующиеся из рек, около 30% приходится на динамические ресурсы подземных вод, формирующиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков, и 6—8% — на сработку статических запасов подземных вод.

На карьерах притоки всегда возрастают примерно пропорционально глубине разработки.

(9) Формы погребенного рельефа. Древние размывы, заполненные позднее водопроницаемыми песчано-глинистыми породами, содержат большие запасы подземных вод. Контактируя с породами продуктивной толщи, эти отложения создают гидравлическую связь нескольких водоносных горизонтов, расположенных в кровле и почве пласта полезного ископаемого,

и обусловливают повышенный приток. На рис. 30 показан схематический геологический разрез через древнюю долину в Боровичском районе (Ленинградской области), при формировании которой полностью размыты нижнекаменноугольные отложения.

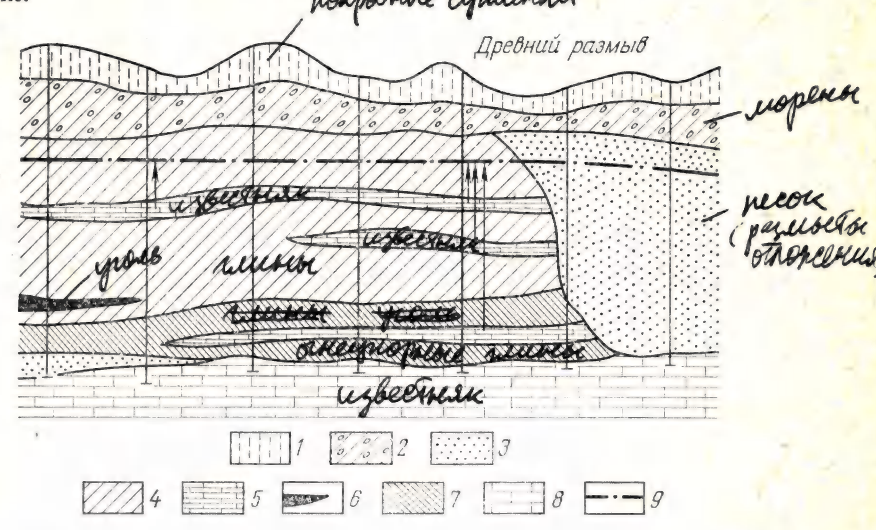


Рис. 30. Схематический геологический разрез доледниковой долины (по М. А. Чельцову):

1 — покровные суглинки; *2* — морены; *3* — пески разной крупности; *4* — глины; *5* — известняки; *6* — уголь; *7* — огнеупорные глины; *8* — известняки и доломиты; *9* — уровень напорных вод

На некоторых железорудных месторождениях Урала установлены эрозионные погребенные долины глубиной до 180 м в известняковых породах карбона.

Влияние старых затопленных выработок. Большое количество подземных вод накапливается в старых заброшенных выработках, пустотах и трещинах обрушения на отработанных участках месторождения. Прорыв этих вод в действующие горные выработки обычно носит катастрофический характер и сопровождается выносом значительных масс обломочного материала, разрушением крепления и рудничного оборудования.

Кислая вода с наличием свободной серной кислоты, поступающая из старых выработок угольных шахт, очень опасна, так как она разрушает насосы, рельсы и другое оборудование. На полиметаллических рудниках подземная вода, скапливающаяся в заброшенных выработках на отработанных участках, особенно в зоне окисления, обогащается тяжелыми металлами. Содержание в такой воде меди, свинца, цинка и других металлов может достигать нескольких граммов или даже десятков граммов на литр.

2 Влияние незатампонированных разведочных скважин. По окончании бурения каждую разведочную скважину обычно ликвидируют, при этом из нее извлекают обсадные трубы и тампонируют жирной глиной или цементом, чтобы вода из водоносных горизонтов не смогла прорваться в горные выработки. При плохом тампонаже скважин в случае подработки последних горными выработками через них очень часто прорывается вода и в ряде случаев со значительным притоком. В целях безопасности бурение технических скважин прекращают за 2—3 м до встречи ими горных выработок. Вскрытие скважин производится после их обсадки и цементации затрубного пространства.

3 Влияние неправильного ведения горных работ. Значительное поступление воды в выработки может быть вызвано неправильным ведением горных работ и неудачным отводом откачиваемых шахтных вод. При работах с обрушением кровли на земной поверхности часто появляются воронки, трещины и т. п. В этих случаях необходимо не допускать на поверхности скопления застойных вод и стока ливневых вод с окружающей площади к зонам обрушения.

В отдельных бассейнах известны случаи поступления ливневых вод через устья шахты и особенно через устья заброшенных штолен и шурфов.

На некоторых шахтах производят посадку кровли в лавах в неблагоприятных гидрогеологических условиях (близкое залегание в кровле открытых водотоков или мощной толщи водоносных аллювиальных и флювиогляциальных песков). В горных выработках, расположенных в долинах рек, можно допускать обрушение кровли только при мощной толще пластичных пород (глин, пластичных глинистых сланцев), в которых в зоне обрушения не возникает открытых трещин.

Нельзя отводить шахтные воды по поверхности шахтного поля и в районе карьера канавами и по балкам, а также орошать расположенные здесь огороды, если породы водопроницаемы и пропускают инфильтрующиеся воды. В оврагах и балках, расположенных в пределах поля шахты или в районе карьера, без тщательных исследований, нельзя устраивать плотин для сбора воды. Наблюдения на полях буроугольных карьеров Днепровского бассейна и на шахтах Подмосковного бассейна показали значительную обводненность угольных пластов за счет инфильтрующихся вод.

§ 38. Гидрогеологические классификации и типы обводненных месторождений

Положив в основу оценки степени обводненности месторождений геотектонический фактор и одновременно учитывая другие основные природные условия (наличие многолетней мерзлоты и

близость водотоков), С. В. Троянский предложил классификацию месторождений полезных ископаемых (табл. 11).

Таблица 11

Классификация месторождений полезных ископаемых

Группа	Подгруппа	Тип
1. Месторождения вне зоны многолетней мерзлоты	1. Удаленные от водоемов и водотоков	А. Основные 1. Платформенный 2. Геосинклинальный 3. Промежуточный (смешанный)
2. Месторождения в зоне многолетней мерзлоты	2. Расположенные вблизи открытых водотоков и водоемов	Б. Дополнительные 4. Карстовый 5. Соляной 6. Россыпных месторождений 7. Месторождений серы

Месторождения платформенного типа приурочены к верхнему недислоцированному этапу геологических комплеков на платформах, сложенных осадочными породами, не подвергавшимися метаморфизму. В кровле и почве пласта полезного ископаемого чаще залегают пористые, рыхлые породы, содержащие нередко большие запасы подземных вод (Подмосковный угольный и Днепровский буроугольный бассейны).

Геосинклинальный тип включает месторождения, приуроченные к нижним этажам платформы, к их складчатому фундаменту, сложенному метаморфическими дислоцированными скальными породами, в трещинах которых содержатся ограниченные запасы подземных вод (Донецкий, Кузнецкий, Карагандинский угольные бассейны, Криворожский железорудный бассейн).

К промежуточному типу относятся месторождения, которые могут приближаться к платформенному или геосинклинальному типу. Например, полезное ископаемое залегает в нижнем этаже среди метаморфических пород, перекрытых мощной обводненной толщей осадочных пород верхнего этажа платформы (Западный Донбасс, месторождения угля Западной Украины, железорудные месторождения КМА, Соколовско-Сарбайские месторождения и др.).

Дополнительно выделен карстовый тип месторождений, характеризующийся большими притоками и требующий особого подхода при разведке и осуществлении мероприятий по борьбе с подземными водами. Особо выделены месторождения легкорастворимых солей, россыпные месторождения и месторождения природной серы.

Отнесение месторождений к тому или иному типу, подгруппе и группе позволяет правильно подойти к оценке его обвод-

ненности и наметить мероприятия по борьбе с подземными водами.

В зависимости от характера и водообильности пород, слагающих кровлю и почву полезного ископаемого, Д. И. Щеголев выделяет месторождения, в геологическом разрезе которых преобладают: 1) трещиноватые скальные породы, 2) рыхлые песчано-глинистые и песчано-галечные породы и 3) карстующиеся и легкорастворимые породы (известняки, доломиты, гипсы, ангидриты).

По степени сложности геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических условий карьерных полей, количеству водоносных горизонтов, величине напора и водопритока, сложности условий осушения и способа осушения О. Б. Скиргелло подразделяет месторождения полезных ископаемых (кроме соляных и в зоне многолетней мерзлоты) на четыре генетических типа [1, 2].

I. Месторождения, приуроченные к дислоцированному, часто метаморфизованному комплексу устойчивых скальных пород. Условия осушения простые. Допустим открытый или подземный водоотлив (Криворожский, Ахтенский железорудные, Веселовский, Волчанский угольные, Черноозерский никелевый, Учалинский медный карьеры).

II. Месторождения, приуроченные к карстующимся или сильно раздробленным устойчивым скальным породам. При простых условиях осушения применим открытый и подземный водоотлив (эстонские сланцевые карьеры). При средней сложности и сложных применимы поверхностный, подземный и комбинированный способы осушения (Раздольненский серный, Горевский полиметаллический карьеры).

III. Месторождения, приуроченные к дислоцированному комплексу устойчивых некарстующихся скальных пород, перекрытых осадочными песчано-глинистыми неустойчивыми отложениями. При величине напора до 50 м условия осушения средней сложности; применим поверхностный или подземный, а на первоочередных участках — комбинированный способ осушения (Стойленский, Лебединский железорудные карьеры в КМА). При напоре до 100 м и двух-трех дренируемых водоносных горизонтах имеют место сложные условия осушения; применима комбинированная система осушения (Соколовский, Сарбайский, Михайловский железорудные, Зыряновский полиметаллический карьеры). При напоре до 100 м и трех и более водоносных горизонтах условия осушения очень сложные и необходим комбинированный способ осушения с большим числом дрен (Погремецкий железорудный карьер КМА).

IV. Месторождения, приуроченные к осадочному комплексу неустойчивых песчано-глинистых и устойчивых полускальных пород. При напоре до 30 м и одном-двух дренируемых водоносных горизонтах условия осушения средней сложности; приме-

нимы поверхностный или подземный способы, а на первоочередных участках возможен комбинированный способ осушения (Запорожский марганцевый, Приморский янтарный, Итатский, Морозовский, Бандуровский угольные, Лисаковский железорудный карьеры). При напоре до 50 м и двух-трех дренируемых водоносных горизонтах условия осушения сложные. Целесообразно применение комбинированного способа осушения (Кушмурунский угольный карьер).

При напоре до 100 м и трех и более дренируемых водоносных горизонтах наблюдаются очень сложные условия осушения и необходимо применение комбинированного способа осушения с большим числом дрен (некоторые Тихвинские бокситовые карьеры).

Как следует из сказанного, если I тип месторождений характеризуется простыми условиями осушения карьеров, то на месторождениях II, III и IV типов по гидрогеологическим условиям (количеству водоносных горизонтов, мощности, величинам коэффициента фильтрации и напору водоносных горизонтов) выделяются четыре категории сложности осушения карьеров: простые, средней сложности, сложные и очень сложные, от которых зависит выбор типа дренажной системы. далее стр 135

§ 39. Определение водопритоков в разрезную траншею и карьер

Определение притока воды в карьер и шахту является одной из самых сложных задач гидрогеологии. Все существующие методы расчета являются приближенными вследствие многообразия естественных факторов, определяющих приток, и изменений гидрогеологических условий месторождения при проведении горных выработок. В процессе осушения месторождения осушаемая площадь и количество дренажных устройств все время меняются, зеркало подземных вод резко понижается, при этом могут появляться новые источники обводнения горных выработок в виде вод соседних поверхностных водотоков и смежных водоносных горизонтов, ранее не участвовавших в обводнении.

Вместе с тем практика осушения месторождений показала, что при учете существующих гидрогеологических условий и изменений их при отработке месторождения применяющиеся приближенные методы расчета притоков позволяют с достаточной точностью оценить величину ожидаемого притока и определить количество дренажных устройств для осушения месторождения.

Для оценки обводненности месторождения, разрабатываемого открытым способом, определяется приток воды в карьер, используя полученные при разведке данные о наличии водоносных горизонтов, обводняющих горные выработки, их гидрогеологические параметры (мощность, напор, коэффициент фильтра-

ции, уровнепроводность, пьезопроводность, водоотдача и др.), а также размеры карьера и расстояния до областей питания и стока подземных вод.

Для определения общего протока воды в карьеры применяются методы: гидрогеологических аналогий, водного баланса, аналитический и моделирования.

1) Определение общего притока по методу гидрогеологических аналогий. Этот метод применяется для ориентировочной оценки водопритоков в проектируемый карьер в пределах бассейна, где имеются действующие карьеры — аналоги. Исходной величиной для прогноза водопритока может служить коэффициент водообильности на разных стадиях развития карьера — аналога (первые 2—3 года эксплуатации, при достижении проектной мощности и т. д.).

Коэффициент водообильности характеризует водоприток и показывает количество воды в кубических метрах, откачиваемой при добыче одной тонны полезного ископаемого. Значение коэффициента водообильности колеблется в широких пределах — от 1 до 40 и более и зависит от многих факторов, в частности от системы разработки, степени механизации, производительности карьера или шахты и т. д.

При вскрытии месторождения и до конца подготовительных работ степень обводнения карьера следует оценивать общим притоком, а не коэффициентом водообильности, так как приток не зависит от количества извлекаемого полезного ископаемого.

При проектировании карьера водоприток определяется по коэффициенту водообильности карьера, находящегося примерно в одинаковых с ним гидрогеологических и горных (по производительности, системе работ) условиях. Этот способ считается достаточно надежным для предварительного суждения о степени обводненности проектируемого карьера в период его эксплуатации.

Приток воды в проектируемый карьер Q определяется по формуле:

$$Q = K_{\text{в}} \frac{D}{t}, \tag{89}$$

где $K_{\text{в}}$ — коэффициент водообильности карьера-аналога в соответствующий период его развития, м^3/т; D — проектная добыча, т; t — время, соответствующее периоду добычи, сут.

Приток в проектируемый карьер в период строительства и эксплуатации можно также определить, зная величину притока на 1 км длины карьера, находящегося в аналогичных горногеологических условиях.

2) Определение общего притока по водному балансу. Общий приток в карьер или в дренажные горные выработки при подземном осушении можно определить как сумму статических (естественных) запасов, удаляемых при осу-

Водоотдача стр. 11

шении месторождения, и естественных ресурсов, поступающих к участку разработки из области питания. Данный метод был успешно применен И. А. Скабаллановичем при оценке притока в систему дренажных выработок буроугольных карьеров Украины.

Этот метод применим для месторождений, разрабатываемых открытым способом при неглубоком залегании безнапорных подземных вод, обводняющих пласт полезного ископаемого и пополняющихся за счет инфильтрации атмосферных осадков в пределах водосборной площади.

Рассмотрим участок разрезной траншеи, предварительно осушаемой подземным способом путем заложения дренажного ствола и штреков, оснащенных забивными фильтрами. В равной степени можно рассматривать как участок карьера в начальный период его эксплуатации, так и все поле карьера.

Удаляемые статические запасы находятся в пределах площади разработок F и в зоне распространения депрессионной воронки.

1. Статические запасы на осушаемой площади разработки

$$W = \mu V = \mu H F, \quad (90)$$

где μ — объемная водоотдача, в долях единицы; V — объем пород, подлежащих осушению, м^3; H — средняя мощность водоносного слоя, м; F — площадь участка осушения, м^2.

2. Срабатываемые статические запасы в пределах депрессионной воронки за границами участка осушения равны:

$$W = \frac{HR\mu L}{3}, \quad (91)$$

где R — радиус влияния осушительной установки, считая от границы участка осушения, м; L — периметр участка осушения, м.

Средний приток за счет статических запасов определяется по формуле:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{H}{t} \mu \left(F + \frac{RL}{3} \right), \quad (92)$$

где t — время, за которое будут пройдены выработки плюс тричетыре месяца работы последних установленных фильтров, сут.

Естественные ресурсы, поступающие к участку осушения, формируются за счет атмосферных осадков, инфильтрующихся на осушаемой площади очередной разработки и площади распространения депрессионной воронки, а также на всей остальной водосборной площади, с которой подземная вода стекает к участку разработки.

1. Часть естественных ресурсов, связанных с инфильтрацией атмосферных осадков на площади осушения, включая депрессионную воронку, равна:

$$Q'_{\text{ест}} = 86{,}4 M \omega_1 = 86{,}4 M (F + RL), \quad (93)$$

где M — модуль подземного стока, л/с с 1 км²; ω_1 — площадь разработки и зона распространения депрессионной воронки, км².

2. Часть естественных ресурсов, двигающихся в виде грунтового потока к участку осушения и образующихся от инфильтрации атмосферных осадков на площади водосбора, определяется по той же формуле:

$$Q''_{ест} = 86{,}4 M \omega_2, \tag{94}$$

где ω_2 — площадь водосбора, определяемая по карте, км².

3. Часть естественных ресурсов может быть подсчитана так же, как расход подземного потока, поступающего к участку осушения (плюс зона депрессионной воронки), по формуле:

$$Q''_{ест} = kIH (B + 2R), \tag{95}$$

где I — гидравлический уклон подземного потока, замеренный по карте в гидроизогипсах; B — ширина подземного потока, равная ширине участка осушения, перпендикулярная к движению потока, м.

Общие естественные ресурсы

$$Q_{ест} = 86{,}4 M \omega, \tag{96}$$

где ω — площадь инфильтрации атмосферных осадков, км².

Общий приток равен:

$$Q = Q_{ст} + Q_{ест}. \tag{97}$$

Метод водного баланса широко применяется как контрольный для проверки обеспеченности водопритока, рассчитанного другими методами, а для месторождений с простыми гидрогеологическими условиями имеет самостоятельное значение.

Определение общего притока аналитическим методом. Карьеры и строительные котлованы, не вытянутые в длину, прямоугольной или неправильной в плане формы с отношением длины L к ширине В, равным 10 : 1 и менее, при определении ожидаемого притока воды в них рассматривают как большой колодец круглой формы с приведенным радиусом и расчет притока ведут по методу «большого колодца», предложенному С. В. Троянским.

Величину приведенного радиуса r_0 определяют:

при неправильной форме карьера в плане по формуле:

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \tag{98}$$

при прямоугольной форме карьера по формуле Н. К. Гиринского:

$$r_0 = \eta \frac{L + B}{4}, \tag{99}$$

где F — площадь котлована (карьера), м²; L — длина котлована, м; B — ширина котлована, м; η — коэффициент, значения которого в зависимости от отношения $\frac{B}{L}$, приведены ниже.

$\frac{B}{L}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6 и более
η	1,05	1,08	1,12	1,144	1,16	1,174	1,18

При доведении дна карьера до нижнего водоупора приток можно рассчитывать:

1) в условиях безнапорных вод так же, как и для совершенного грунтового колодца (21) при понижении уровня воды в нем до дна (т. е. $h=0$) по формуле: Стр. 58

$$Q = \frac{1,36kH^2}{\lg R_0 - \lg r_0}; \quad (100)$$

2) в условиях артезианских вод так же, как и для грунтоартезианского колодца при понижении уровня воды в нем до дна по формуле ф-ла 22 стр. 58

$$Q = \frac{1,36k\,(2H - M)\,M}{\lg R_0 - \lg r_0}, \quad (101)$$

?

где H — мощность безнапорного водоносного слоя или высота столба воды над нижним водоупором, м; M — мощность напорного водоносного слоя, м; r_0 — приведенный радиус карьера, м; R_0 — радиус воронки осушения, считая от центра карьера ($R_0 = R + r_0$, R — радиус влияния, вычисляемый по формуле И. П. Кусакина или принимаемый по данным наблюдений).

Приток воды в карьер, пересекающий водонепроницаемые породы (в том числе слабопроницаемый пласт полезного ископаемого) и вскрывающий напорный водоносный горизонт мощностью M, можно определить по формуле:

$$Q = \frac{2,73kMS}{\lg R - \lg r_0}, \quad (102)$$

где S — величина понижения статического уровня до дна карьера (равная напору), м.

Приток воды из аллювиального безнапорного водоносного горизонта в карьер, расположенный вблизи реки на расстоянии l (при $l < 0,5\,R$), определяется по формуле:

$$Q = \frac{1,36kH^2}{\lg 2l - \lg r_0}. \quad (103)$$

Ожидаемый приток воды из безнапорного водоносного горизонта в совершенный вытянутый карьер, разрезную или выездную траншею (при соотношении длины L к ширине B равном

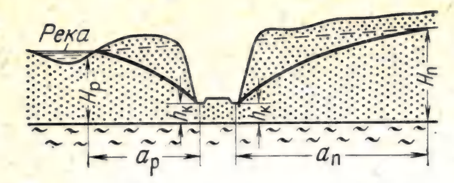


Рис. 31. Схема притока воды к разрезной траншее.

более 10) можно определять как в одиночно работающую дрену, в которую вода поступает с двух длинных сторон, применяя формулы, подобные (13, 18, 37):

$$Q = kL\frac{H^2 - h_к^2}{R}, \qquad (104)$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут; L — длина карьера, м; H — мощность водоносного горизонта, м; $h_к$ — остаточная мощность горизонта в карьере, принимаемая зачастую равной нулю, м; R — радиус влияния карьера, м.

Приток грунтовых вод в разрезную траншею или карьер при фильтрации из близко расположенной реки при одновременном поступлении воды с нагорной стороны (рис. 31) равен:

$$Q = \frac{kL}{2}\left(\frac{H_р^2 - h_к^2}{a_р} + \frac{H_п^2 - h_к^2}{a_п}\right), \qquad (105)$$

где $H_р$ — мощноеть водоносного горизонта у реки, м; $h_к$ — остаточная мощность горизонта в разрезной траншее, м; $a_р$ — расстояние от траншеи до реки, м; $H_п$ — мощность горизонта с нагорной стороны, м; $a_п$ — расстояние от траншеи до области питания, м.

Приток воды в вытянутый несовершенный карьер, углубленный на величину l в безнапорный водоносный горизонт, определяется по формуле Н. К. Гиринского, справедливой при $(H-l)_{B} > 5$,

$$Q = \frac{kLl\,(2H - l)}{2R + 0,733\lg\dfrac{H-l}{B} + 0,077}. \qquad (106)$$

Более подробно аналитические расчеты притока воды в карьеры рассмотрены в специальной литературе [1, 2, 20, 24 и др.].

Определение общего притока методом моделирования. Для прогноза водопритока и расчета дренажа карьерных полей в сложных гидрогеологических условиях, когда другие методы не дают надежных результатов, применяются приборы, моделирующие природные гидрогеологические условия: прибор ЭГДА, электро-, гидроинтеграторы и ЭЦВМ.

Метод электрогидродинамических аналогий основан на аналогии между явлением ламинарной установившейся фильтрации воды в горных породах и прохождением тока в электропроводной среде в виде электропроводной бумаги, реже в жидких электролитах. На приборах ЭГДА можно определять притоки

воды в горные выработки с учетом факторов, осложняющих расчеты фильтрации подземных вод (например, с учетом подвигания бортов карьера, работы дренажных устройств, инфильтрации атмосферных осадков, движения воды в соседних водоносных горизонтах разной проницаемости), выполняя моделирование объектов с любой конфигурацией граничных контуров, что повышает точность расчетов.

Моделирование на сеточных электроинтеграторах ЭИ-12, УСМ-1, МСМ-1, ЭИНП-3 и др. основано на аналогии между движением воды в горных породах и электрическими явлениями в узлах электроинтегратора, в которых сосредоточены электрические сопротивления отдельных участков моделируемого гидрогеологического района.

На первом этапе моделирования устанавливают начальные и граничные условия, удовлетворяющие разведанным природным гидрогеологическим условиям, а на втором этапе, моделируя расположение проектируемых горных выработок и дренажной системы, получают на модели ожидаемый водоприток в карьер и положение снижаемого уровня подземных вод. Для изучения отдельных частей карьерного поля с большей детальностью (например вблизи выработок) на этих участках сетка может сгущаться.

В гидравлических интеграторах В. С. Лукьянова (ИГЛ) вместо электрических сопротивлений применены гидравлические сопротивления и для задания граничных условий применяют установку с подвижными водосливами. По простоте конструкции, удобству эксплуатации и затрате времени на моделирование они уступают электроинтеграторам.

Методика аналогового моделирования применительно к расчетам дренажа карьерных полей изложена в работах [15, 24 и др.].

В последнее время при фильтрационных расчетах находят применение быстродействующие *электронные вычислительные машины* (ЭВМ) типа Е. С., применение которых резко ускоряет процесс моделирования по сравнению с электроинтеграторами, выполняющими аналоговое моделирование. далее стр. 167

§ 40. Режим водопритоков в горные выработки и оценка условий их обводненности

Для характеристики обводненности месторождения необходимо знать не только средний приток воды, поступающий в карьер или шахту, но и режим водопритока подземных вод во время строительства горного предприятия и в процессе его эксплуатации.

Режим водопритока в горные выработки и режим подземных вод месторождения зависят от типа и размера запасов подземных вод, степени взаимосвязи между смежными водоносными

горизонтами и связи их с поверхностными водами, от интенсивности и работы дренажных устройств, системы разработки и других факторов.

Особое значение имеет характер запасов подземных вод, которые разделяются на два типа: статические запасы и естественные ресурсы.

Статические запасы подземных вод представляют собой количество воды, находящейся в порах и трещинах горных пород, которая может быть удалена при их осушении. Величину статических запасов определяют по формуле:

$$W = V\mu = \omega H (n - n_m),$$

где V — объем осушаемой породы, м^3; μ — объемная водоотдача или активная пористость; ω — площадь осушаемого участка, м^2; H — средняя мощность водоносного пласта, м; n — пористость в долях единицы; n_m — объемная максимальная молекулярная влагоемкость в долях единицы.

Значения водоотдачи по данным полевых и лабораторных определений приведены в табл. 12.

Таблица 12

Водоотдача горных пород разного литологического состава

Порода	Водоотдача μ	Порода	Водоотдача, μ
Галечник и гравий	0,35—0,30	Сильно трещиноватые породы	0,10—0,002
Крупнозернистый песок*	0,30—0,25	Трещиноватые породы	0,002—0,0002
Среднезернистый песок*	0,25—0,20	Сильно закарстованные породы	0,15—0,05
Мелкозернистый песок*	0,20—0,15	Закарстованные породы	0,05—0,01
Тонкозернистый песок*	0,15—0,10	Слабо закарстованные породы	0,01—0,005
Бурый уголь	0,05—0,02		

* Для глинистых песков μ меньше приведенных значений на 0,05.

Водоотдача глин 0,01-0,03 (до 0,05)

Естественные ресурсы (запасы) подземных вод представляют собой производительность потока, т. е. количество воды, движущейся в виде потока со стороны водосборной площади к осушаемому участку (месторождению). Естественные ресурсы можно определить по формуле Дарси или по уравнению водного баланса.

По Дарси (12) расход потока грунтовых вод

$$Q = kFI = kBh_{ср}I,$$

для артезианских вод

$$Q = kBM_{ср}I.$$

Водоприток по водному балансу определяется как произведение коэффициента подземного стока на количество осадков и на водосборную площадь.

На месторождении до начала горных работ существует естественный режим подземных вод. При вскрытии водоносных горизонтов в горные выработки начинает поступать вода. В начальный период откачки уменьшаются статические запасы подземных вод, уровень воды понижается и создается воронка депрессии. Затем наступает период, когда воронка депрессии вокруг участка горных работ относительно стабилизируется; основная величина водопритока будет поступать в горные выработки за счет естественных ресурсов при незначительном уменьшении статических запасов.

В случае преобладания на месторождении статических запасов подземных вод при вскрытии водоносных пластов приток в горные выработки будет значительным, но затем начнет снижаться. Если статические запасы приурочены к водоносным горизонтам ограниченных размеров, например к надугольным пескам в Подмосковном угольном бассейне, при отсутствии взаимосвязи их с верхними водоносными горизонтами, уже спустя несколько месяцев водопритоки значительно уменьшаются. Если статические запасы приурочены к водоносным горизонтам широкого распространения (Днепровский буроугольный бассейн, некоторые месторождения Кузбасса), приток в горные выработки в процессе эксплуатации снижается до величины естественных ресурсов.

При небольших статических и существенных естественных запасах (ресурсах) первоначальный приток в выработки может быть невелик и в период эксплуатации месторождения при одинаковом фронте горных работ будет выдержан во времени. Водопритоки возрастут при переходе на более низкие участки поля или следующие эксплуатационные горизонты, так как увеличится депрессионная воронка и ширина подземного потока, воды которого будут поступать в выработки.

Приток в карьер с развитием горных работ на одном и том же горизонте, как правило, если и растет в абсолютных цифрах, то по относительной величине, например на 1 м² вскрытой поверхности или на 1 т добытого полезного ископаемого, резко уменьшается.

При одновременной эксплуатации карьера и шахт, расположенных у границы участка открытых работ, общий приток возрастает, а его относительная величина снижается, в результате чего значительно улучшаются условия эксплуатации карьера.

При ведении осушительных работ вблизи старых затопленных горных выработок, поверхностных водотоков и водоемов или скоплений аллювиальных и флювиогляциальных водоносных песков притоки воды резко увеличиваются. То же наблюда-

ется при приближении горных работ к водоносному горизонту, воды которого обладают значительным напором.

В некоторых случаях при истощении естественных ресурсов основного водоносного горизонта происходит пополнение их путем перелива вод из другого водоносного горизонта.

Систематическая откачка воды при вскрытии и разработке месторождений снижает уровень подземных вод. В результате откачки создается воронка депрессии, в пределах которой на одной части участка разработки пласт полезного ископаемого осушается полностью, на другой — частично. Величина воронки депрессии и скорость ее формирования зависят от характера запасов подземных вод, близости области питания, водопроницаемости и пьезопроводности пород, мощности и напора водоносных горизонтов, величины понижения, количества откачиваемой воды и расположения дренажных устройств.

Развитие воронки депрессии вокруг участка горных работ в первый период откачки происходит быстро, а затем постепенно затухает.

На больших месторождениях, обводнение которых происходит со стороны водоносных горизонтов крупных артезианских бассейнов и где естественные ресурсы значительны, размеры депрессионных воронок подземных вод сравнительно невелики и форма их быстро устанавливается. Дренажные работы в Подмосковном бассейне показали, что для образования устойчивой депрессионной воронки в тонкозернистых и мелкозернистых песках необходимо, чтобы водоотлив проводился непрерывно в течение 1—1,5 месяца. Радиус воронки в песчаных породах достигает нескольких сотен метров, в известняках — 2—7 км при снижении напора на 30—50 м.

На месторождениях, где обводнение происходит в основном за счет статических запасов и приток со стороны области питания мал, снижение уровня происходит на более значительные расстояния, чем в первом случае. Радиус воронки депрессии при откачках из песков достигает 1—2 км, а из известняков 4—6 км и даже более 10 км.

Так, в Никопольском марганцеворудном бассейне в результате откачки из Александровского карьера около 100 м³/ч воды в течение 5 месяцев при понижении уровня надрудного водоносного горизонта на 4—5 м в мелкозернистых, частично гравелистых песках образовалась воронка депрессии радиусом 850—1000 м. При откачке около 800 м³/ч воды из Алексеевского карьера радиус воронки депрессии за год достиг 1000 м. В Днепропетровском буроугольном бассейне вокруг дренажных шурфов на поле Юрковского карьера при понижении уровня подземных вод в мелко- и среднезернистых песках в центре депрессии на 12 м образовалась депрессионная воронка радиусом более 100 м, причем напор в подугольных песках снизился на 5—6 м в радиусе 300—500 м и на 1,9—3,6 м в радиусе до 1000 м от центра по-

нижения. По наблюдениям на Байдаковском карьере при понижении уровня воды на 15 м в подугольных песках на участке разрезной траншеи радиус влияния был около 1500 м.

Воронки депрессии при откачках в трещиноватых породах достигают больших размеров. Как уже указывалось, на некоторых шахтных полях Подмосковного бассейна при откачках из упинских и девонских известняков при понижении напорного уровня на 20—30 м радиусы депрессионных воронок достигают 4—6 км.

При водопонижении группой скважин в карбонатных породах кровли рудной залежи в Криворожском бассейне при понижении на 38 м радиус влияния по простиранию карбонатной толщи достиг 6500 м.

Вокруг Лебединского карьера КМА к 1966 г. в сеноман-альбских песках и трещиноватых мелах с коэффициентом фильтрации около 20 м/сут при понижении на 43 м образовалась асимметричная депрессионная воронка с радиусом влияния в южном направлении 11 км, а в северном около 9 км. Через несколько лет в северном направлении радиус влияния достиг 12 км, а в южном — с образованием гидроотвала и хвостохранилищ наложилась инфильтрация воды из них и сработка запасов подземных вод прекратилась.

На месторождениях с небольшими статическими запасами и естественными ресурсами подземных вод контуры депрессионных воронок при откачке мощными насосами быстро достигают границ области распространения и питания водоносных горизонтов. При дальнейшей откачке уровень подземных вод понижается в пределах всей площади распространения водоносных горизонтов и последние истощаются. В этих условиях при прекращении откачек уровень подземных вод восстанавливается, но в течение ряда лет, и часто не достигает первоначального статического уровня.

Глава 10

СПОСОБЫ ОСУШЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ОТКРЫТЫХ РАБОТАХ

§ 41. Задачи и значение осушения месторождений

При расположении уровня подземных вод ниже залежи полезного ископаемого они не оказывают влияния на ведение горных работ. *Обводненными* называются месторождения, на которых подземные воды залегают выше пласта полезного ископаемого или под пластом залегает водоносный горизонт с напорной водой, пьезометрический уровень которой стоит выше почвы полезного ископаемого.

Осушение месторождений проводится для предупреждения деформации подготовительных и эксплуатационных выработок

в неустойчивых породах, возникающих при гидростатическом и гидродинамическом давлении подземных вод, а также для создания более благоприятных условий работы горняков и горного оборудования.

При ведении открытых горных работ осушение карьеров проводится с целью:

— обеспечения устойчивости его бортов, откосов, уступов и отвалов;

— уменьшения влажности добываемого полезного ископаемого для улучшения его качества;

— обеспечения нормальных условий работы горного и транспортного оборудования.

При залегании полезного ископаемого в устойчивых скальных породах и небольшом притоке воды применяется открытый водоотлив в карьере.

Чаще на обводненных месторождениях проводится осушение поля карьера путем перехвата подземных вод дренажными сооружениями до поступления их в карьер, так как при разработке насыщенных водой рыхлых пород вскрыши уменьшается производительность экскаваторов и транспортно-отвального моста, снижается трение и сцепление грунта и образуются оползни, которые затрудняют ведение горных работ.

При неполном осушении забойные и отвальные передвижные железнодорожные пути дают большую осадку, влажная порода налипает на черпаки экскаваторов, на конвейеры, на кузова автомашин и на стенки вагонов, закупоривает перегрузочные воронки, плохо ложится по откосу отвалов. Плохо осушенный в пласте уголь приходится досушивать после выемки, так как при влажности, превышающей норму, снижается производительность брикетной установки.

Все работы, связанные с осушением поля карьера, по времени проведения разделяются на две стадии: 1) опережающее предварительное осушение и 2) параллельное, или эксплуатационное, осушение.

Опережающее осушение поля карьера проводится за один-два года до начала разработки полезного ископаемого при вскрытии его и заключается в отводе поверхностных вод, понижении уровня подземных вод и осушении участка разрезной и въездной траншей для обеспечения нормальных условий выемки полезного ископаемого на участке работ первой очереди.

Параллельное (эксплуатационное) осушение проводится одновременно с разработкой месторождения и предназначено для осушения очередных участков, подготавливаемых для выемки полезного ископаемого. Опережающее осушение при вскрытии месторождения всегда переходит в параллельное осушение, проводимое до конца разработки месторождения в пределах поля карьера, или с опережением горных работ, или одновременно с продвиганием их забоев.

Параллельное осушение без предшествующего опережающего осушения проводится, когда в породах вскрыши заключен хорошо водопроницаемый безнапорный водоносный пласт небольшой мощности, а напорные воды в почве полезного ископаемого приурочены к устойчивым породам.

Способ осушения и типы дренажных сооружений должны удовлетворять трем основным требованиям:

1) срок осушения должен быть увязан с развитием вскрышных и добычных работ и со сроком сдачи карьера в эксплуатацию;

2) осушение в нужных размерах должно быть достигнуто при минимальной стоимости;

3) надежность принятого способа должна быть обеспечена.

Успех всех горных работ зависит от эффективности выбранного способа осушения (от сроков и степени осушения), обеспечивающего устойчивость уступов и безаварийную работу механизмов. Нельзя допускать даже местных скоплений воды в породах вскрыши, так как они способствуют прорыву воды и образованию оползней.

Снижение стоимости добываемого полезного ископаемого обеспечивается согласованностью выбранных систем отработки и способа осушения.

Проектирование осушения карьера или шахты состоит из трех стадий: 1) технико-экономического обоснования; 2) проектного задания; 3) рабочих чертежей.

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) составляется по данным гидрогеологических исследований, проводимых геологоразведочными организациями на стадии поисков и предварительной разведки.

В ТЭО устанавливается необходимость защиты карьера от воды, определяются способы и системы осушения, сроки строительства дренажных устройств, необходимое оборудование, основные технико-экономические показатели осушения.

В проектном задании, составляемом по данным детальной разведки, принимаются способ и система осушения, рассматриваются дренажные сооружения, определяются стоимость и технико-экономические показатели осушения. Для месторождений, находящихся в сложных условиях осушения, при составлении проектного задания может проводиться опытное водопонижение.

При составлении рабочих чертежей уточняется принятый вариант осушения с использованием дополнительных гидрогеологических материалов.

Перед доработкой проектного задания осушения и составлением рабочих чертежей при подземном и комбинированном способах осушения производится контрольно-разведочное бурение под стволы дренажных шахт и по трассам проектируемых дренажных систем, сопровождаемое опытными откачками.

§ 42. Способы и схемы осушения

На выбор способа осушения и частоту расположения дренажных сооружений влияют физико-механические и водные свойства пород, количество водоносных горизонтов, подлежащих осушению, и глубина их залегания, тип запасов подземных вод, участвующих в обводнении, и водопроницаемость осушаемых пород. При этом надо учитывать условия вскрытия и систему отработки месторождения.

Исходя из этих показателей и степени обводненности месторождений установлены четыре категории сложности условий осушения: простые, средней сложности, сложные и очень сложные [1, 2].

Простые условия осушения имеют место на месторождениях, сложенных устойчивыми некарстующимися скальными и полускальными породами, в которых распространен один, реже два водоносных горизонта в основном незначительной водопроницаемости. Подземные воды на этих месторождениях легко дренируются, так как вмещающие их устойчивые трещиноватые породы не подвержены смещению, оплыванию, суффозии и пучению независимо от степени их водопроницаемости. Строительства специальных сооружений по осушению этих месторождений обычно не требуется. В шахтах подземные воды дренируются непосредственно горными выработками с откачкой воды на поверхность насосами шахтного водоотлива (угольные шахты Донбасса и Кузбасса). На карьерах горные работы могут проводиться с открытым водоотливом, обеспечивающим откачку подземных и поверхностных вод, поступающих в карьер. Для сбора и отвода воды применяются простейшие дренажные сооружения в виде дренажных траншей (канав) и водоотливных шурфов.

В районах с длительной и суровой зимой (Урал, Сибирь) при подтоплении подземными водами забоя карьера образовываются наледи, обмерзают железнодорожные пути, смерзаются разрабатываемые породы, что усложняет работу экскаваторов и снижает их производительность. В этих районах и на месторождениях, сложенных устойчивыми породами, целесообразно осуществлять их осушение при редкой сети дренажных установок, так как из одного пункта можно осушить значительную площадь скальных пород. Наиболее эффективным способом осушения здесь является заложение небольшого количества водопонижающих скважин. Этот способ успешно применяется на ряде карьеров, в том числе на Веселовском, Волчанском и Харанорском угольных, Ахтенском и Сухоложском железорудных [1].

Так, на Волчанском угольном месторождении Северного Урала отработка карьера № 4 была осуществлена при работе двух-трех скважин.

Осушение песчаников и углей на Веселовском карьере (Северный Урал) осуществлено системой водопонижающих скважин, расположенных в ряд впереди фронта горных работ на рабочем борту карьера. При подработке верхним уступом карьера I ряда скважин включались в работу скважины II ряда, затем III ряда и т. д. Одновременно работало до 13 водопонижающих скважин с суммарным расходом 280 м³/ч.

Обводненные месторождения, сложенные переслаивающимися неустойчивыми песчано-глинистыми и устойчивыми скальными и полускальными породами, устойчивыми породами, прикрытыми толщей неустойчивых песчано-глинистых пород, карстующимися или сильно раздробленными тектоническими нарушениями породами, по условиям осушения являются сложными. На этих месторождениях осушительные работы проводятся в полном объеме, обеспечивающем нормальные условия ведения горных работ.

При открытом способе разработки полезного ископаемого применяются поверхностный, подземный и комбинированный способы осушения. Кроме того, осуществляется защита карьера от поверхностных вод.

Общая характеристика поверхностных способов осушения. Способы поверхностного осушения с поверхности земли или с уступов карьера следующие:

1) глубокий дренаж водопонижающими или поглощающими скважинами;
2) ярусное осушение;
3) горизонтальный дренаж неглубокого заложения;
4) горизонтальный дренаж в откосах карьера.

Глубокий дренаж системой водопонижающих скважин широко применяется в горной промышленности. Применение водопонижающих скважин наиболее эффективно для снятия напора водоносного горизонта, залегающего в почве пласта полезного ископаемого и сложенного устойчивыми породами. Однако водопонижающие скважины широко применяются и для осушения водоносных рыхлых пород, залегающих в кровле и почве разрабатываемых пластов.

Глубокий дренаж заключается в откачке воды из водоносных пластов, обводняющих карьер, при помощи буровых скважин, оборудованных глубинными артезианскими насосами и размещенных за технической границей карьера для постоянного дренажа и на рабочих бортах, уступах и дне карьера для временного дренажа.

Осушение водопонижающими скважинами не требует больших капитальных затрат при малом сроке их сооружения; путем изменения числа и местоположения скважин легко обеспечивается требуемое снижение подземных вод на отдельных участках в процессе эксплуатации.

Недостатком являются большие эксплуатационные расходы, высокая энергоемкость откачки воды, занятость значительного числа обслуживающего персонала, сложность централизованного отвода воды и выход из строя работающих насосов. При применении водопонижающих скважин полного осушения не достигается. Над подошвой безнапорного водоносного горизонта обычно остается слой воды, равный 15—35% его естественной мощности, и неизбежна откачка фильтрующей из откоса воды в карьере.

Обычно водопонижающие скважины рассчитываются на длительный срок работы. Их надо стремиться закладывать в понижениях почвы водоносного пласта, на участках повышенной трещиноватости и закарстованности.

Снижение эксплуатационных расходов возможно при бурении скважины большого диаметра (0,5—1,0 м), применении надежных высокодебитных насосов и фильтров улучшенной конструкции.

Практика показала, что применение водопонижающих скважин наиболее эффективно в хорошо проницаемых породах для осушения безнапорных водоносных горизонтов мощностью более 10 м с коэффициентом фильтрации не менее 1—3 м/сут и напорных с коэффициентом фильтрации трещиноватых пород более 0,5 м/сут.

В случае превышения естественного уровня подземных вод, залегающих в кровле полезного ископаемого, над уровнем водоносного горизонта в почве для осушения вышележащих водосодержащих пород закладываются водопоглощающие скважины, по которым производится сброс воды в нижние горизонты.

2) *Ярусное (ступенчатое) осушение* применяется при временном понижении уровня грунтовых вод на глубину до 20 м. Для этого закладывается несколько рядов скважин с последующей откачкой воды из них насосами, расположенными на уступах карьеров.

Многоярусное осушение применяется при сооружении котлованов, въездной и разрезной траншей карьеров. При ярусном осушении попутно с осушением скважинами первого яруса производится выемка осушенного грунта на глубину 3—5 м, затем монтируется второй ярус и т. д. (рис. 32). Достоинствами многоярусной установки является легкость надзора за работой насосного оборудования и ее надежность, так как при выходе из строя одного яруса в работе находятся другие. К недостаткам относятся: большой объем буровых и земляных работ и загромождение траншеи трубопроводами и насосами. Особенно густая сеть скважин и продолжительное время (несколько месяцев) требуются для осушения тонко- и мелкозернистых глинистых песков и илистых грунтов, обладающих малыми коэффициентами фильтрации.

При ярусном водопонижении получили применение пере-

движные водопонижающие установки иглофильтров (ПВУ и ЛИУ) для осушения песчано-глинистых и илистых грунтов с плохой водопроницаемостью и водоотдачей при коэффициентах фильтрации до 1—2 м/сут, когда обычные водопонижающие скважины малоэффективны.

Горизонтальный дренаж неглубокого заложения применяется для осушения водоносных покровных отложений, расположен-

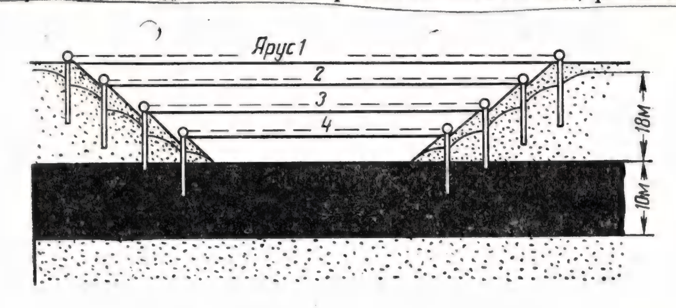


Рис. 32. Схема четырехъярусной водопонижающей установки при вскрытии пласта угля

ных над продуктивной толщей и содержащих основной обводняющий горизонт. Такой дренаж осуществляется путем заложения водосборных открытых канав (траншей) или закрытых дрен. Если поверхность земли и водоупора осушаемых пород имеет достаточный наклон, то вода по дренам (канавам) отводится самотеком; в других случаях возникает необходимость в перекачке дренажных вод. Горизонтальный дренаж целесообразно применять при хорошей водопроницаемости обводненной покровной толщи при мощности ее менее 20 м и возможности отвода дренажных вод за пределы карьера самотеком.

По расположению дрен в плане различают контурный (кольцевой), заградительный и систематический (параллельный) дренаж.

1. *Контурный (кольцевой) дренаж* в виде дрены, расположенной по всему периметру участка карьера, устраивается в том случае, когда подземные воды поступают к карьеру со всех сторон, например при ведении открытых работ в речной долине.

2. *Заградительный дренаж* в виде дрены, расположенной вдоль какой-либо стороны карьера или вдоль двух смежных сторон, устраивается с целью оградить карьер и перехватить грунтовые воды на пути их движения от источника питания к карьеру. Источником питания может быть русло реки или подземный поток, движущийся со стороны водосборной площади.

Заградительный дренаж нередко закладывается на уступе карьера, вскрывающего слабообильный горизонт, в виде неглубокой открытой канавы в подошве водоносного слоя или закры-

той дрены с уложенными дренажными трубами, обсыпанными песком и гравием. Такой же вид имеет прибортовой дренаж, закладываемый для обеспечения устойчивости нерабочего борта карьера, содержащего водоносный горизонт.

в) *Горизонтальный дренаж в откосах карьера* применяется в виде горизонтальных дренажных скважин, закладываемых в рабочем и нерабочем бортах карьера для осушения вскрытых карьером водоносных песков. Скважины могут проходиться параллельными рядами или веерообразными лучами. Наличие станков горизонтального бурения способствует применению этого самого экономичного способа осушения бортов карьеров.

Общая характеристика подземного способа осушения. Подземное осушение проводится посредством заложения дренажного ствола и проведения штреков по рабочему пласту или вкрест простирания (при крутом падении слоев). Подземный способ осушения эффективен при осушении месторождений со сложными гидрогеологическими условиями при наличии водоносных горизонтов значительной мощности в кровле и почве пласта полезного ископаемого, залегающих на больших глубинах.

Достоинством подземного способа является возможность осушения слабопроницаемых пород (k=0,5—3 м/сут), упрощение организации шахтного и карьерного водоотлива, относительно низкая стоимость эксплуатации подземной дренажной системы.

Если подземные воды приурочены к маломощному водоносному горизонту, залегающему в устойчивых трещиноватых породах вскрыши, хорошо отдающих воду, то дренажный шурф и штреки могут сами обеспечить осушение карьера. При наличии в кровле и почве разрабатываемого пласта песчано-глинистых отложений дренажные штреки и штольни используются для установки дренажных сооружений и отвода воды, поступающей из осушаемых слоев.

Дренажными устройствами обычно служат забивные фильтры, вакуум-фильтры, сквозные фильтры, водопонижающие колодцы и разгрузочные скважины.

Для проведения подземного осушения закладывается один, два и более дренажных стволов с околоствольными выработками. Дренажные стволы и подземные водосборники закладываются по подвижному борту карьера с расчетом погашения в конце отработки поля карьера или на продолжительный срок (более 5 лет). Надо стремиться закладывать взамен дренажных дренажно-эксплуатационные шахты, располагая их за технической границей поля карьера, для осушения карьеров и отработки полезного ископаемого вне его границ.

Стволы шахт располагаются в местах с относительно более низкими отметками почвы пласта, чтобы штреки имели уклон в сторону околоствольного двора. При этом учитывается и то, что осушение при проходке стволов в этих условиях скажется

сильнее на обезвоживании водоносных пластов. Количество дренажных шахт, расположение и протяженность штреков зависят от конфигурации карьерного поля, условий залегания водоносных горизонтов, направления движения подземных вод, водопроницаемости полезного ископаемого и водовмещающих пород, требуемой величины понижения уровня и времени, отведенного на осушение.

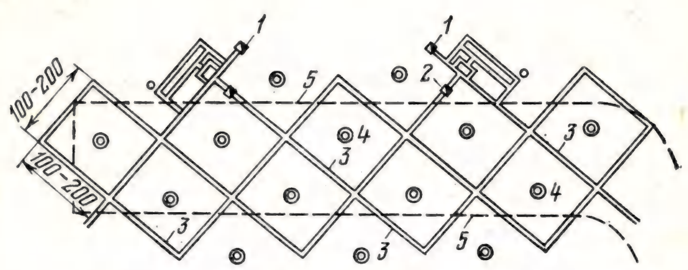


Рис. 33. Схема подземного осушения (план):

1 — ствол дренажной шахты; *2* — вентиляционный шурф; *3* — дренажные штреки; *4* — поглощающие колодцы; *5* — контур разрезной траншеи

Штреки закладываются под углом примерно 60—70° к вскрытому забою и проводятся в пласте полезного ископаемого на высоте 1—2 м и менее от его почвы при пологом и горизонтальном залегании. На Юрковском буроугольном карьере Днепровского бассейна в процессе эксплуатации дренажные штреки и штольни проводились по контакту с подугольными песками с углублением в них до 1,5—2 м. Это позволило снизить уровень подугольного водоносного горизонта ниже почвы угольного пласта. Общая длина дренажных штреков получается минимальной при проведении парных главных штреков по наиболее пониженным местам залегания пласта угля, где почва надугольного и кровля подугольного водоносных пластов имеют наиболее низкие отметки, например по осям мульд. Дренажные штреки проводят через 200—300 м и более (300—500 м в Нидерлаузицком буроугольном бассейне ГДР) (рис. 33).

При значительных динамических запасах подземных вод на месторождении, т. е. когда в естественных условиях происходит постоянное пополнение подземных вод, по границе карьерного поля закладывают контурный дренаж, перехватывающий подземный поток, движущийся к карьеру, и за счет этого уменьшают количество штреков на осушаемом участке. Выработки и дренажные сооружения контурного дренажа действуют продолжительное время, в ряде случаев в течение всего периода работы карьера. Сеть штреков с дренажными устройствами действует более короткое время, перемещаясь с фронтом работ карьера. Дренажные шахты и штреки проводятся и погашаются отдельными участками, размеры которых зависят от скорости продви-

жения фронта работ карьера. Дренажные скважины и фильтры работают от нескольких недель до нескольких месяцев.

Вода, поступающая в штрек, отводится по специально проводимым сточным канавам. Во избежание затопления и заиливания выработок при прорывах плывуна в штреках сооружаются перемычки. Они бывают водонепроницаемыми и фильтрующими. Водонепроницаемые перемычки ставятся для ограждения участков возможного прорыва в них вод. При давлении воды до 0,2—0,3 МПа устанавливаются временные дренажные перемычки. Они предназначены для задержания воды до установки насосов, которые бы обеспечили откачку всей воды, поступающей в шахту при прорыве. Фильтрующие перемычки устанавливают в тех случаях, когда приток воды не превышает существующей мощности насосов и когда вода несет большое количество ила и песка, которые могут заилить штрек на значительном протяжении.

Дренажная шахта с системой штреков также может быть использована для приема и перекачки на поверхность атмосферных и подземных вод, поступающих в карьер. Для сброса вод из карьера в дренажные штреки проходят водосборные скважины.

Основным недостатком подземного способа осушения на карьерах является большая стоимость осушения вследствие проходки осушительных шахт с довольно густой сетью штреков и необходимость закладывать их за два-три года до начала вскрышных работ. Существенным недостатком этого способа осушения является также снижение устойчивости угольного уступа при прохождении экскаваторов, транспортно-отвального моста и других механизмов над дренажными штреками, проведенными по пласту угля.

Высокая стоимость подземного осушения значительно снижается за счет разрежения сети штреков и может быть еще больше (примерно на 20%) снижена при замене штреков дренажными штольнями, закладываемыми в борту карьера после проведения разрезной траншеи, т. е. в период эксплуатации карьера.

Общая характеристика комбинированного способа осушения. Комбинированное осушение состоит в одновременном применении элементов поверхностного и подземного способов осушения в разных сочетаниях. Так, в период строительства угольных карьеров нередко с поверхности закладываются водопонижающие скважины с глубинными насосами, при работе которых осуществляется проходка стволов осушительных шахт, околоствольных выработок и сети штреков. Затем вводят в действие подземные дренажные устройства.

Комбинированный способ также заключается в заложении с поверхности заградительного ряда водопонижающих скважин на нерабочем борту и торцах карьера и по бортам въездной тран-

шеи с одновременной проходкой на рабочем борту карьера подземных выработок с дренажными устройствами.

При эксплуатации угольных карьеров комбинированное осушение заключается в заложении водопонижающих скважин по трассам проектируемых штреков и откачке воды из них на поверхность. После проходки дренажных штреков водопонижающие скважины переоборудуются в сквозные фильтры для осушения надугольных водоносных горизонтов и в водопонижающие трубчатые колодцы для снятия напора в подугольном водоносном горизонте: в штреках закладываются забивные фильтры и дальнейшее осушение поля карьера осуществляется подземным способом.

Комбинированным осушением также является сочетание подземного осушения с заложением с поверхности земли поглощающих скважин для осушения водосодержащих пород в кровле полезного ископаемого и спуска воды в нижележащие более водопроницаемые пласты.

В Криворожском бассейне при переходе к разработке железорудных залежей на глубоких горизонтах осушение карбонатных пород висячего бока проводилось комбинированным способом путем частичного понижения уровня подземных вод водопонижающими скважинами с поверхности с последующим снятием напора буровыми скважинами, закладываемыми из горных выработок. Так, на руднике им. Фрунзе в 1963—1964 гг. работало пять — восемь водопонижающих скважин и до трех десятков дренажных горизонтальных скважин длиной 100—200 м, пробуренных на трех дренажных горизонтах. Было создано понижение уровня подземных вод на 245 м и осушены породы на

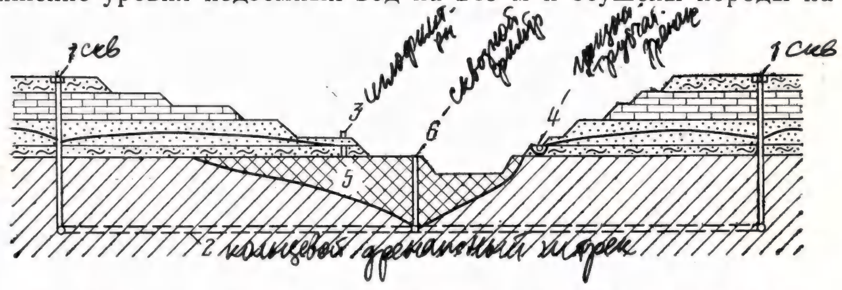


Рис. 34. Система осушения Лебединского карьера (по М. Л. Моргулису)

горизонте 350 м, что обеспечило безопасные условия разработки железной руды. За период с 1958 по 1964 г. из карбонатной толщи откачано 27 млн. м³ воды, в том числе из водопонижающих скважин 22 млн. м³. К 1970 г. перешли на глубокое осушение из подземных выработок.

Комбинированное осушение принято в проекте разработки Лебединского карьера КМА. На участке первой очереди

(рис. 34) в период строительства уровень надъюрского и руднокристаллического водоносных горизонтов снижается водопонижающими скважинами *1* (см. рис. 34), расположенными в виде кольца по периметру строящегося карьера на расстоянии 32 м одна от другой и оборудованными насосами АТН-10. К концу строительства карьера водопонижающие скважины переоборудуются в сквозные фильтры, отводящие воду в кольцевой дренажный штрек *2*, проходящий по контуру кольца скважин в плотных кварцитах и сланцах, залегающих ниже рудной залежи. Проведение дренажных штреков ведется из трех стволов, расположенных вне контура карьера. Надрудные пески рабочего борта осушаются эжекторными иглофильтровыми установками *3*. Вода надрудных песков на нерабочем борту перехватывается горизонтальным трубчатым дренажем *4*. Для осушения рудного тела *5* проходятся сквозные фильтры *6*. В процессе строительства и начала эксплуатации Лебединского карьера часть эжекторных установок иглофильтров заменена более удобными установками ЛИУ-5, для осушения надрудных песков в нерабочем борту заложены 33 горизонтальные скважины, вдоль рабочего борта пройдены дренажные траншеи на двух горизонтах, значительно расширен открытый водоотлив.

Комбинированное осушение на Высокогорском железорудном месторождении на Урале при отработке подземным способом успешно осуществлено путем заложения нескольких поверхностных водопонижающих скважин глубиной 400 м и дренажных выработок с подземными подопонижающими скважинами глубиной до 200 м при предварительном бурении подземных контрольно-разведочных скважин глубиной 300—400 м.

Порядок отработки обводненных месторождений надо выбирать с учетом гидрогеологических условий.

При наличии нескольких карьерных и шахтных полей на обводненном месторождении для уменьшения притока необходимо разрабатывать их все одновременно или часть шахтных полей, расположенных компактно. Такая система отработки значительно облегчила освоение сильно обводненного Поплевинского месторождения в Подмосковном угольном бассейне.

При расположении месторождения у реки для уменьшения притока надо начинать разработку участков, удаленных от реки.

При открытой разработке месторождения необходимо стремиться, чтобы разрезная траншея перехватывала поток подземных вод и тем самым отгораживала от них остальную часть карьерного поля. По этим соображениям разработку россыпных месторождений следует начинать с участков, расположенных выше по потоку подземных вод.

С х е м ы о с у ш е н и я. Выбор схемы осушения определяется формой и размерами осушаемых участков и гидрогеологическими условиями месторождения. Обычно наиболее экономич-

ными оказываются «местные схемы осушения», когда дренажные установки располагаются вблизи осушаемого очередного участка горных выработок и учитывается водопроницаемость и рельеф подошвы осушаемого пласта. Иногда осушается сразу все поле карьера.

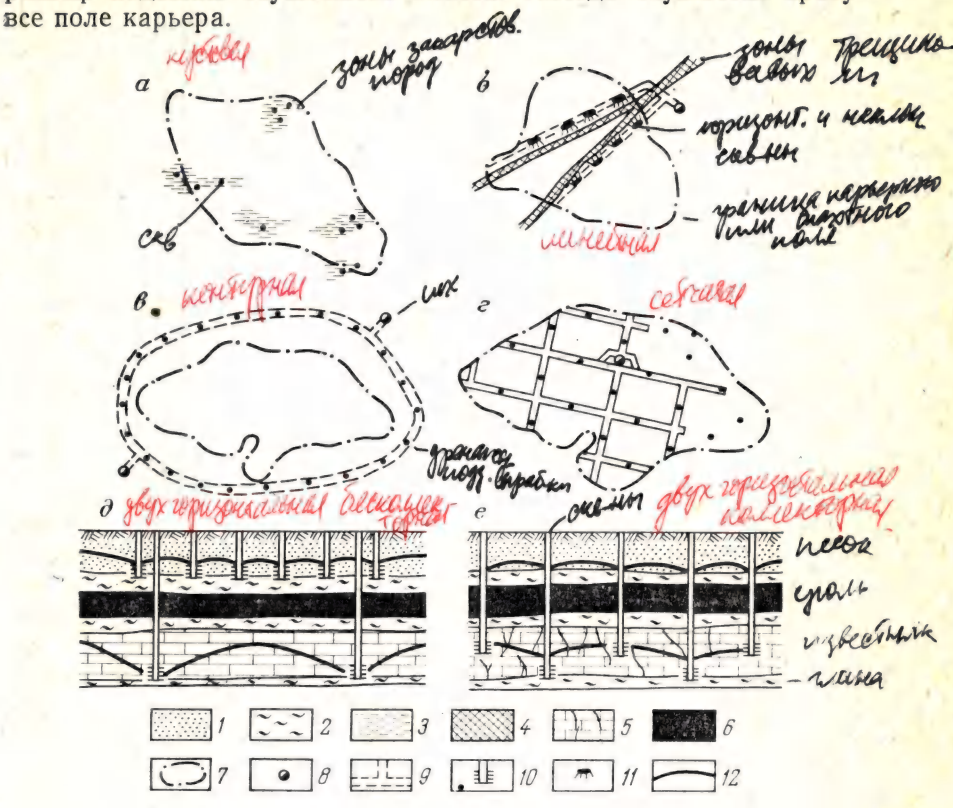


Рис. 35. Схемы расположения дренажных устройств:

а — кустовая; *б* — линейная; *в* — контурная; *г* — сетчатая; *д* — двухгоризонтальная бесколлекторная; *е* — двухгоризонтальная коллекторная. *1* — пески обводненные; *2* — глины; *3* — зоны закарстованных пород; *4* — зоны трещиноватых пород; *5* — известняки трещиноватые и закарстованные; *6* — уголь; *7* — техническая граница поля; *8* — ствол шахты; *9* — дренажные подземные выработки; *10* — водопонижающие скважины (в плане и разрезе); *11* — горизонтальные или наклонные скважины; *12* — депрессионная кривая

По расположению дренажных устройств в плане схемы осушения подразделяются на кустовые, линейные, контурные и сетчатые, а в разрезе — на одногоризонтальные и многогоризонтальные, коллекторные и бесколлекторные (рис. 35).

При кустовой схеме осушения водопонижающие скважины закладываются для снятия напора подземных вод группами без определенной системы в местах расположения зон высокой водообильности, обусловленной резко выраженной зональной трещиноватостью или закарстованностью водоносных пород или при

линзообразном их залегании. Кустовые системы сооружались в Подмосковном угольном бассейне и на Соколовском железорудном месторождении.

Линейные схемы осушения состоят из одного, двух или более рядов водопонижающих скважин, дренажных канав, штреков или горизонтальных скважин. Они чаще применяются при осушении наклонных водоносных пластов или пластов с высокой водопроницаемостью, а также при осушении въездных или разрезных траншей, рабочих бортов карьеров, штреков главных направлений (см. рис. 35). Их целесообразно применять для перехвата фильтрационного потока из открытых водотоков и водоемов в вблизи расположенный карьер. Линейные системы построены на Ахтенском железорудном, Веселовском буроугольном, Зыряновском полиметаллическом и других карьерах.

При контурной схеме осушения дренажные скважины располагают по углам треугольника, квадрата, многоугольника или по периметру ограждаемого участка небольших размеров. Контурная схема применяется обычно при горизонтальном залегании водосодержащих пород различной водопроницаемости. Контурные схемы находят применение при осушении околоствольных выработок, выемочных участков и небольших карьерных полей (см. рис. 35).

Наличие двух взаимодействующих контурных установок (например, вокруг двух рядом расположенных шахтных стволов) или двух концентрически расположенных установок образует двухконтурную схему осушения.

Сетчатая схема (при расположении скважин по сетке) может применяться для осушения слабоводопроницаемых пород при подземном способе осушения, когда дренажными устройствами являются сквозные и забивные фильтры. Она нашла применение на буроугольных карьерах Днепровского, Канско-Ачинского и других бассейнов.

Одно- или многогоризонтальные бесколлекторные системы осушения применяются при наличии одного или нескольких разобщенных водоносных горизонтов, причем дренаж каждого горизонта осуществляется самостоятельно.

Если нижний водоносный горизонт, гидравлически связанный с верхним, более водопроницаем, возможно применение бесколлекторной дренажной системы, при которой вода из верхнего горизонта перепускается в нижний, а затем откачивается на поверхность. Проведя технико-экономическое сравнение нескольких рассчитанных вариантов, принимают оптимальную схему осушения.

далее стр. 155

Осушение отдельных участков карьерного поля проводится по следующим скользящим схемам.

Для осушения водоносных пород, прорезаемых въездной и разрезной траншеями, чаще закладывается линейный ряд водопонижающих скважин вдоль траншей на одном или на обоих

ее бортах (рис. 36, *а*). В дальнейшем при комбинированном способе осушения водопонижающие скважины переоборудуются в сквозные фильтры. В дополнение к ним в дренажных штреках могут закладываться забивные фильтры и трубчатые водопонижающие колодцы. Осушение водоносных пород, залегающих ниже дна траншеи, может быть осуществлено дренажными канавами и водопонижающими скважинами, закладываемыми на дне траншеи по линейным схемам.

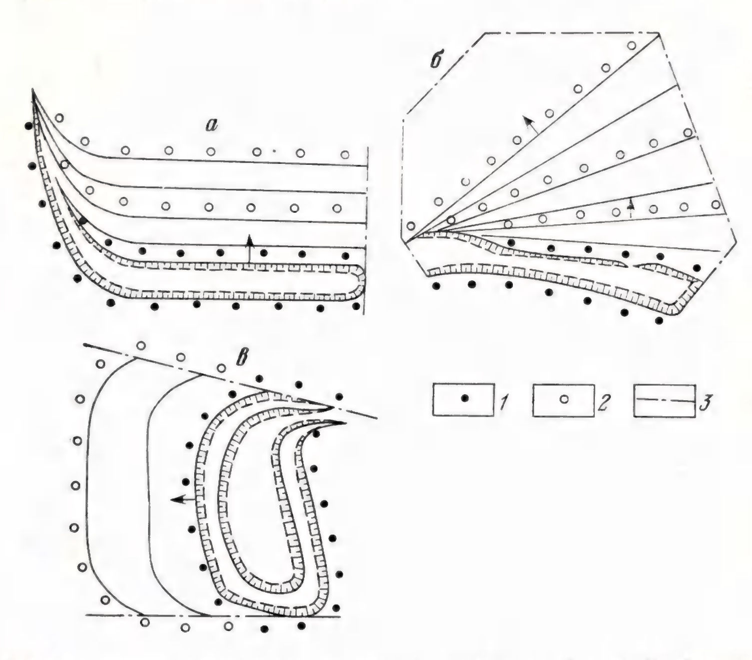


Рис. 36. Скользящие схемы осушения карьерного поля (по О. Б. Скиргелло):
а — схема скользящих параллельных рядов; *б* — схема скользящих веерных рядов; *в* — схема скользящих контуров. *1* — водопонижающие скважины первой очереди; *2* — водопонижающие скважины второй и последующих очередей; *3* — границы карьерного поля

Необходимо учитывать, что при строительстве въездной и разрезной траншей формируется неустановившийся режим фильтрации. Еще не сдренированные подземные воды оказывают наиболее сильное влияние на устойчивость откосов и поэтому дренажные работы в этот период должны проводиться особенно интенсивно, водоотливные средства должны быть более мощными, чем в последующий период эксплуатации карьера.

Осушение нерабочего борта карьера проводится дренажными установками, заложенными для осушения разрезной траншеи. При необходимости более полного перехвата подземных вод закладывают прибортовой горизонтальный дренаж или бу-

рят ряд горизонтальных дренажных скважин перпендикулярно к нерабочему борту карьера. Горизонтальный дренаж в некоторых случаях может один обеспечить устойчивость нерабочего борта карьера и заменить ранее пройденные водопонижающие скважины.

Осушение рабочего борта карьера обычно проводится путем заложения вдоль вскрышного борта карьера скользящих линейных установок водопонижающих скважин (см. рис. 36, *а*, *б*). Очередной ряд водопонижающих скважин закладывается с опережением продвижения вскрышного уступа на 2—5 лет и вступает в работу при подрезке уступом карьера предыдущей линии водопонижающих скважин (см. рис. 36, *а*, *б*). При комбинированном способе осушения и подходе дренажных подземных выработок к линии водопонижающих скважин последние переоборудуются в сквозные фильтры.

Если площадь распространения полезного ископаемого невелика, дренажные установки располагаются по границам всего карьерного поля или отдельных участков очередной отработки (см. рис. 36, *в*).

Рассмотрим технологические средства, оборудование, типы дренажных устройств и методы расчета притоков воды в горные выработки при поверхностном и подземном способах осушения. Поскольку комбинированный способ осушения представляет собой различное сочетание отдельных элементов поверхностного и подземного способов, дополнительно останавливаться на нем нет необходимости.

§ 43. Поверхностные способы осушения

Глубокий дренаж. Глубокий дренаж (глубокое водопонижение) применяется для снятия напора водоносного горизонта, залегающего в почве пласта полезного ископаемого, и для осушения как этого пласта, так и вышележащих водоносных горизонтов. Для проведения водопонижения необходимо пробурить на участке поля карьера группу водопонижающих скважин, оборудовать их в неустойчивых водоносных породах фильтрами, установить в каждой скважине насос с двигателем для откачки воды, подключив каждый к системе автоматического регулирования, и проложить водоотводные трубы.

Бурение скважин. Начальный диаметр водопонижающих скважин обычно принимают равным 14—20″, конечный 8—16″.

Чтобы сохранить водопроницаемость горных пород и получить максимально возможный дебит, не допуская его уменьшения, скважины бурят станками ударно-канатного бурения. Рекомендуется применять высокопроизводительные легкие станки роторного бурения, а также комбинированную установку ударно-вращательного бурения АБС-1.

Для проходки скважин большого диаметра в мягких породах широко применяется беструбное роторное бурение с обратной промывкой модернизированными станками УРБ-2А и УРБ-3АМ, 1БА-15В [4]. Вода для промывки подается в скважины самотеком и уровень ее поддерживается на 3 м выше статического уровня подземных вод. Разбуренная порода удаляется из забоя эрлифтом по бурильной колонне диаметром 100—200 мм. Диаметр бурения 500—1000 мм и более постоянный по всей глубине скважины. Достигнутая глубина бурения 100 м, возможная — 500 м. Дебит такой скважины увеличивается в 2—3 раза, и удлиняется срок ее работы. Бурение этим способом ускоряет проходку скважины в 8—10 раз. Так, скважина диаметром 600—1000 мм и глубиной 28—32 м в песчано-суглинистых породах бурится за 4—7 ч и оборудуется фильтровой колонной и насосом за 5—6 ч.

При осушении месторождения применяются скважины нескольких типов в зависимости от их назначения: водопонижающие, водопоглощающие, наблюдательные и контрольно-разведочные.

1) *Водопонижающие (водозаборные) скважины* служат для откачки воды из водоносных горизонтов на поверхность при помощи установленных в них глубинных насосов. Конструкция водопонижающей скважины зависит от гидрогеологических условий месторождения, глубины скважины и диаметра наружной части глубинного насоса. Скважины бывают бесфильтровые и оборудованные фильтрами.

Скважины без фильтров применяют в устойчивых трещиноватых водоносных породах (известняках, песчаниках и др.), в которых исключается обвал или оплывание пород, слагающих стенки скважины.

В малоустойчивых породах при возможности вывалов пород и в крупнозернистых песках в скважинах устанавливают фильтр в виде перфорированной трубы со щелевыми или круглыми отверстиями диаметром 5—20 мм при общей скважности фильтра до 25—30%. При осушении водоносных песчаных пород скважины обязательно оборудут фильтрами. Диаметр фильтровой колонны принимается на 2″ больше диаметра погружного насоса. Учитывая, что при осушении приходится закладывать большое количество скважин, срок работы которых невелик (по сравнению со скважинами, пройденными в целях водоснабжения), фильтры устанавливают только простые по конструкции и пригодные для массового изготовления. Широкое применение получили каркасно-стержневые и гравийно-проволочные фильтры.

1. Каркасно-стержневой фильтр конструкции В. М. Гаврилко (рис. 37) состоит из стальных стержней диаметром 10—16 мм, приваренных к опорным поясам на расстоянии 30—40 мм один от другого. На каркас наматывается мягкая проволока из нержавеющей стали даметром 1,5—2 мм или простая железная

проволока-катанка диаметром 3—5 мм. Ширина просветов между проволоками принимается в пределах 0,5—6 мм, при этом скважность фильтра получается от 11 до 80%. Для предохранения проволочной обмотки от сдвига вдоль фильтра устанавливают четыре предохранительных ребра из металлических стержней, закрепленных поясами из полосового железа. Вокруг засыпают гравий или крупный песок. Каркасно-стержневые фильт-

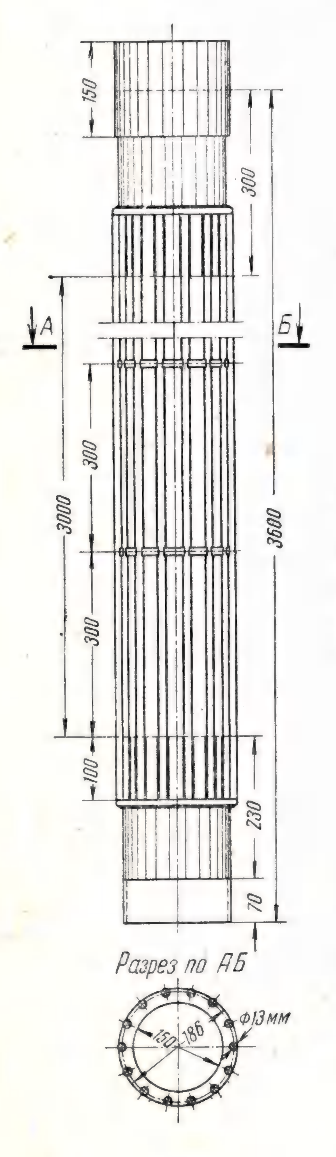
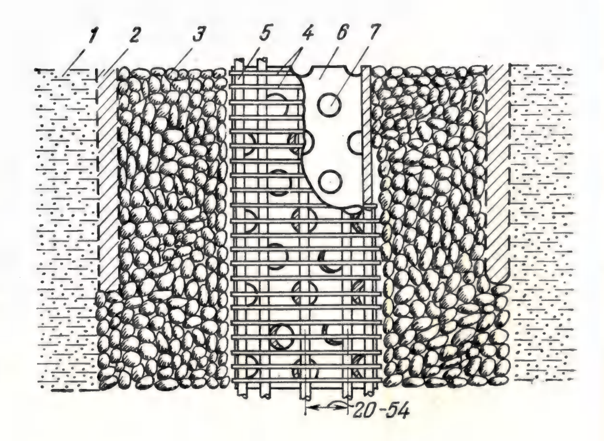


Рис. 37. Каркасно-стержневой фильтр

Рис. 38. Схема устройства гравийно-проволочного фильтра:

1 — песок водоносный; *2* — вспомогательная обсадная труба диаметром 150 мм; *3* — гравийная обсыпка из зерен диаметром 3—5 мм; *4* — внешний каркас фильтра из проволоки нержавеющей стали диаметром 0,8—2 мм; *5* — опорные ребра из стальной проволоки диаметром 3—5 мм; *6* — опорный каркас из буровой или газовой трубы диаметром 57 мм со скважностью 10—27%; *7* — отверстия опорного каркаса диаметром 7—15 мм



ры широко распространены в Днепровском и Подмосковном бассейнах.

2. Гравийно-проволочный фильтр (рис. 38) представляет собой перфорированную трубу с щелевыми или круглыми отверстиями диаметром 7—14 мм (опорный каркас) с наваренными ребрами из проволоки диаметром 3—5 мм, обернутую проволокой из нержавеющей стали диаметром 0,8—2 мм. Скважность опорного каркаса 10—27% (зазор между проволоками определяется диаметром зерен гравийной обсыпки). Сверху обмотка скрепляется продольными предохранительными ребрами из проволоки диаметром 2—4 мм. Диаметр зерен засыпки $d_з$ должен быть в 7—10 раз больше невымываемых частиц водоносного слоя и может быть вычислен по уравнению:

$$d_з = 4 \div 6 d_{50},$$

где d_{50} — диаметр зерна, меньше которого в естественном грунте имеется 50% всего грунта, мм.

Толщина обсыпки 50—75 мм. Зазор между проволоками обмотки принимается равным 1,25—1,5 d_{50} гравийной обсыпки.

В напорном слое фильтр устанавливают в пределах всей мощности пласта или в нижней его части, в безнапорном — в нижней его половине. При снятии напора в подугольных известняках большой мощности скважины в них углубляются на 15—20 м; длина отстойника при этом составляет 5 м.

В минерализованных водах, богатых углекислотой и серной кислотой, разрушающих стальные предметы, необходимо применять антикоррозионные фильтры из пластмасс или деревянные (преимущественно дубовые, сосновые) с гравийной обсыпкой.

Возможно применение водопонижающих скважин для осушения нескольких надугольных водоносных горизонтов и снятия напора в подугольных водоносных песках. Практика показала целесообразность дренирования одной скважиной не более двух водоносных горизонтов.

Места заложения водопонижающих скважин определяют по результатам бурения и опробования гидрогеологических контрольно-разведочных скважин, устанавливающих с достаточной точностью водообильность водоносного горизонта, подлежащего осушению.

Взаимное расположение водопонижающих скважин устанавливается расчетом с использованием коэффициентов фильтрации осушаемых пород и радиусов влияния, полученных при опытных откачках.

Повышение водоотдачи осушаемых пород и увеличение дебита водопонижающих скважин в 1,5—3 раза можно достичь путем создания вакуума в скважине, применяя вакуумную

установку треста Союзшахтосушение (ВУС). Вакуум можно создать также путем установки над рабочим узлом насоса ниже статического уровня воды уплотняющего сальника.

Для повышения дебита водопонижающих скважин, откачивающих воду из известняков, может применяться обработка скважин соляной кислотой, заключающаяся в заливке кислоты в скважину с последующим продавливанием ее в известняки водой или сжатым воздухом. Кислота заливается порциями в несколько приемов. После каждой операции скважину прокачивают. Концентрация соляной кислоты составляет 15—20%, примерный расход кислоты в слабопроницаемых пластах 0,4—0,6 м³, а в сильнопроницаемых — 1—1,5 м³ на 1 м мощности осушаемого горизонта. Повышение дебита также возможно, если применять гидравлический разрыв пласта, торпедирование и другие методы [2].

В ряде случаев наблюдается резкое снижение производительности водопонижающих скважин и сквозных фильтров, установленных в песках, в результате коррозии и зарастания фильтра коркой песка, сцементированного гидроокислами железа. Примененный на Лебединском карьере КМА метод свабирования путем прокачки скважин специальным поршнем — свабом с шаровым клапаном, создающим разрежение в скважине, оказался наиболее эффективным методом прочистки фильтра.

2) *Водопоглощающие скважины* предназначены для сброса вод верхних водоносных горизонтов в нижние, залегающие ниже пласта полезного ископаемого, чем достигается осушение вышележащей толщи.

Вода может спускаться как в сухие, так и в обводненные пласты, но в последних уровень воды должен располагаться значительно ниже уровня верхнего горизонта, желательно ниже почвы осушаемого пласта или осушаемых горных выработок. Чем больше водопроницаемость поглощающего воду пласта и чем ниже стоит его уровень по сравнению с осушаемым горизонтом, тем сильнее будет водопоглощение.

Учитывая, что нижние водоносные горизонты часто служат источником питьевого водоснабжения и поэтому подлежат санитарной охране, возможность сброса шахтных вод и вод вышележащих горизонтов, нередко загрязненных продуктами разложения органических веществ, должна решаться в каждом конкретном случае после детального изучения химического и бактериального состава сбрасываемых вод.

В Подмосковном угольном бассейне, например, практикуется сброс по поглощающим скважинам вод главным образом известняков и частично песков в подугольные упинские и девонские известняки с одновременной откачкой и понижением уровня воды в последних мощными насосами, установленными в водопонижающих скважинах.

Рис. 39. Конструкция водопоглощающей скважины:
1 — дырчатый фильтр в осушаемых известняках; *2* — гравийно-проволочный фильтр в осушаемых песках; *3* — незакрепленный участок скважины в поглощающих воду подугольных известняках

Места заложения водопоглощающих скважин выбирают по возможности на участках понижения дренируемых верхних водоносных горизонтов. Скважины оборудуют фильтрами как в осушаемых слоях, так и в поглощающем водоносном горизонте, если стенки скважины неустойчивы. При устойчивых стенках скважин в поглощающем слое фильтр не ставят (рис. 39).

Конечный диаметр водопоглощающих скважин обычно составляет 3—4″, начальный 10—12″. Оборудование скважин блоковыми фильтрами из пористого материала и увеличение диаметра до 400—500 мм повышает их эффективность.

Количество воды, поглощаемой скважиной, зависит от работы фильтра. Конструкция фильтра для водопоглощающих скважин такая же, как и для водопонижающих скважин и сквозных фильтров. Скважины периодически чистят (особенно в начале их работы) от накапливающегося песка.

Количество воды, поглощаемой скважиной, заложенной в напорном водоносном слое, определяют по формуле:

$$Q = \frac{2,73kM\,(h - H)}{\lg R - \lg r}, \qquad (107)$$

дебит поглощающей скважины в безнапорных водах

$$Q = \frac{1,36k\,(h^2 - H^2)}{\lg R - \lg r}, \qquad (108)$$

где $h—H$ — превышение уровня воды в скважине над естественным уровнем воды в поглощающем слое. (Остальные обозначения см. к формуле 27).

Водопоглощающие скважины целесообразно применять только в тех случаях, когда разность уровней воды в осушаемом H_1 и поглощающем H_2 слоях значительна и для поглощающего слоя произведение коэффициента фильтрации на мощность пласта $k_2 \cdot M_2$ больше соответствующей величины $k_1 \cdot M_1$ для осушаемого пласта.

3) *Наблюдательные скважины* служат для контроля изменений

уровня, химического состава и температуры подземных вод при водопонижении. Они должны быть заложены до начала работ по осушению по определенной схеме.

В карьере наблюдательные скважины проходят по 2—3 створам вкрест заложения траншеи (по 3—5 скважин в каждом створе) отдельно на каждый дренируемый водоносный горизонт. В скважинах, предназначенных для наблюдения за водами в песках, ставят фильтры дырчатые (в крупнозернистых песках) или сетчатые с отстойником длиной 1,5—2,0 м.

В процессе бурения скважин ведут тщательные наблюдения за установившимся уровнем вод каждого горизонта, а осушаемые пласты опробуют пробной откачкой для уточнения их водообильности. Во время проведения осушительных работ в ближайших поверхностных водоемах и горных выработках также ведут наблюдения за уровнем воды и притоками.

Контрольно-разведочные скважины предназначаются для уточнения принятых в проекте осушения геологического строения и водообильности водоносных горизонтов и обоснования мест заложения водопонижающих скважин. Во время бурения контрольно-разведочных скважин уточняют уровни каждого водоносного горизонта и их водообильность. Откачки проводят эрлифтами, насосами АТН-8, ВАН-4 или штанговыми насосами при максимально возможном понижении. Контрольно-разведочные скважины бурят с обсадкой несколькими колоннами труб с конечным диаметром 130—200 мм и глубиной, равной глубине водопонижающей скважины, переоборудуя их по окончании разведочных работ в наблюдательные.

Насосы. Для откачки воды из водопонижающих скважин на поверхность в зависимости от их дебита, диаметра и высоты подъема, химического состава воды и содержания механических примесей применяются центробежные погружные двигатель — насосы типов ЭЦВ, АПТ, АПВ: реже стали применяться артезианские турбинные насосы типа АТН, А с двигателями на поверхности; используются насосы типа ЭПН и ГНОМ, иногда штанговые насосы.

Эрлифты в практике водопонижения при осушении месторождений не получили большого применения вследствие малого к. п. д.

При выборе насоса необходимо предусмотреть, чтобы подача его соответствовала установленному дебиту скважины.

Глубинные насосы с погружными электродвигателями типа ЭЦВ, АПТ, АПВ предназначены для откачки из скважины диаметром 4—16″ главным образом чистой воды (с содержанием примесей не более 0,1 г/л). В этих насосах электродвигатель находится ниже уровня воды на одном вертикальном валу с центробежным насосом, расположенным несколько выше электродвигателя, и составляет с ним единый агрегат.

Наиболее распространенные насосы ЭПВ имеют подачу от

4 до 375 м³/ч и развивают напор от 70 до 540 м. Серийно изготовляется свыше 50 марок насосов ЭЦВ, АПТ, АПВ [25].

Насосы типа АТН и А применяются для откачки воды от 30 до 200 м³/ч из скважин диаметром 200—400 мм (8—16″) при напорах от 30 до 100 м с температурой до 30° С и содержанием механических примесей до 0,5% по весу.

Погружные электрические насосы типа ЭПН и ГНОМ предназначены для откачки воды с большим содержанием механических примесей из скважин диаметром 150—250 мм (6—10″).

Краткая характеристика некоторых насосов каждого типа приведена в табл. 13, подробные данные о насосах изложены в книге Д. М. Хохловкина [25].

Таблица 13

Техническая характеристика некоторых насосов

Насос	Минимальный диаметр скважины, мм	Подача, м³/ч	Напор, м	Диаметр насоса, мм	Мощность двигателя, кВт
ЭЦВ-8-16-140	200	16	140	186	11
ЭЦВ-10-63-270	250	63	270	234	65
ЭЦВ-12-160-100	300	160	100	281	65
ЭЦВ-14-210-300к	350	210	300	328	250
АТН-8	200	30	68—94	188	14—20
АТН-10	250	70	45—100	238	20—40
АТН-14	350	200	46—62	340	55—75
ЭПН-6-16	150	16	50—110	142	4—8
ЭПН-10-120	250	120	50—115	234	22—50

Насосы ЭЦВ имеют меньший вес и стоимость, чем насосы АТН; их эксплуатация дешевле, а монтаж и демонтаж проще, чем насосов АТН; они могут эксплуатироваться в менее прямолинейных скважинах.

Штанговые поршневые насосы применяются для откачки воды из скважин с дебитом до 10—15 м³/ч, чаще 2—5 м³/ч при осушении мелкозернистых водоносных песков на глубине до 30—40 м. Недостатками штанговых поршневых насосов являются: быстрый износ манжет, частый обрыв штанг и громоздкость приводного механизма с двигателем над устьем каждой скважины.

Расчет установки водопонижающих скважин. Расчет потребного количества скважин для понижения уровня подземных вод при вскрытии разрезной траншеи, при проходке котлована для приемного колодца насосной станции, стволов дренажной шахты для подземного осушения, околоствольных выработок, при осушении отдельных участков карьера и т. п. ведется по формулам, приведенным в справочниках и специальных руководствах [1, 2], с учетом характера схемы осушения

и расположения дренажных скважин по отношению к областям питания и стока подземных вод.

Учитывая приближенность исходных данных о водопроницаемости обводненных пород и производимых расчетов, надо предусматривать возможную необходимость бурения 10—20% запасных водопонижающих скважин.

Рассмотрим порядок расчета установки водопонижающих скважин при проходке котлована на конкретном примере.

Пример. Рассчитать групповую установку водопонижающих скважин, расположенных по прямоугольному контуру размером 60×30 м. Исходные данные: минимально необходимое понижение в пределах контура $S=5$ м, сниженный уровень $H_{ц}=7$ м, радиус скважин 0,2 м, мощность грунтового потока $H=12$ м, коэффициент фильтрации $k=17{,}3$ м/сут.

Задаемся числом скважин $n=6$ и понижением в скважинах $S=8$ м.

1. Радиус влияния определяем по формуле (24):

$$R = 2S\sqrt{Hk} = 2\cdot 8\sqrt{12\cdot 17{,}3} = 231 \text{ м}.$$

Приведенный радиус установки вычисляем по формуле (45):

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{60\cdot 30}{3{,}14}} = 24 \text{ м}.$$

Радиус действия понижающей установки:

$$R_0 = R + r_0 = 231 + 24 = 255 \approx 250 \text{ м}.$$

При небольшой мощности водоносного горизонта скважины доводим до водоупора.

2. Дебит каждой скважины вычисляем по формуле В. М. Щелкачева (44):

$$Q' = \frac{1{,}36k\,(2H - S)\,S}{\lg \dfrac{R_0^6}{6r_0^5 r}} = \frac{1{,}36\cdot 17{,}3\,(2\cdot 12 - 8)\;8}{6\lg 250 - \lg 6 - 5\lg 24 - \lg 0{,}20} = 407 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

3. По формуле (49) определяем высоту сниженного уровня грунтовых вод в центре установки:

$$H_{ц} = \sqrt{H^2 - \frac{6Q'}{1{,}36k}(\lg R_0 - \lg r_0)} =$$

$$= \sqrt{12^2 - \frac{6\cdot 407}{1{,}36\cdot 17{,}3}(\lg 250 - \lg 24)} = 6{,}19 \text{ м}.$$

4. Водопропускную способность скважины при $l=H-S=$ $=12-8=4$ м определяем по формуле (51):

$$f = 120\pi r l\sqrt[3]{k} = 120\cdot 3{,}14\cdot 0{,}20\cdot 4\sqrt[3]{7{,}3} = 780 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Так как получены удовлетворяющие нас значения $H_ц = 6{,}19$ м (менее 7 м), $Q' = 407$ м³/сут, $f = 780$ м³/сут, останавливаемся на числе скважин $n = 6$ и располагаем их по углам контура и посередине длинных сторон, т. е. на расстоянии 30 м одна от другой (рис. 40).

Дебит установки

$$Q = nQ' = 6 \cdot 407 = 2442 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

5. Зная число и расположение скважин, уточняем высоту сниженного уровня грунтовых вод в центре установки $H_ц$ по формуле (48):

$$H_ц = \sqrt{H^2 - \frac{6Q'}{1{,}36k}\left[\lg R_0 - \frac{1}{6}\lg(x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_6)\right]} =$$

$$= \sqrt{12^2 - \frac{6 \cdot 407}{1{,}36 \cdot 17{,}3}\left[\lg 250 - \frac{1}{6}(2\lg 15 + 4\lg 33{,}54)\right]} = 6{,}40 \text{ м}.$$

6. Проверяем по формуле (48), достигается ли требуемое понижение уровня грунтовых вод в точках A и $Б$ поля осушения (см. рис. 40):

$$H_A = \sqrt{12^2 - \frac{6 \cdot 407}{1{,}36 \cdot 17{,}3}\left[\lg 250 - \frac{1}{6}(4\lg 21{,}21 + 2\lg 47{,}10)\right]} =$$

$$= 6{,}71 \text{ м};$$

$$H_Б = \sqrt{12^2 - \frac{6 \cdot 407}{1{,}36 \cdot 17{,}3}\left[\lg 250 - \frac{1}{6}(2\lg 15 + 2\lg 34 + 2\lg 62)\right]} =$$

$$= 7{,}07 \text{ м} \approx 7 \text{ м}.$$

Расчет показал, что установкой из шести скважин при понижении 8 м достигается требуемое снижение уровня грунтовых вод, причем фильтр длиной l, равной 4 м, будет легко пропускать откачиваемый расход.

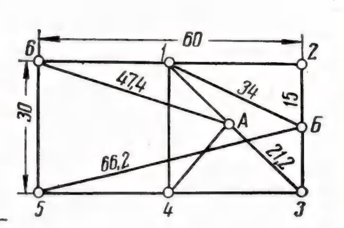


Рис. 40. Схема расположения водопонижающих скважин

Ярусное осушение. Для временного и локального понижения уровня подземных вод на 15—20 м от поверхности в песчаных и песчано-глинистых породах применяются иглофильтровые установки. Из имеющихся конструкций водопонижающих иглофильтровых установок чаще всего применяются передвижные (ПВУ-2) и легкие (ЛИУ-5, ЛИУ-3, ЛИУ-2), оборудованные иглофильтрами одинаковой конструкции, но отличающиеся их числом и подачей (табл. 14).

Передвижная иглофильтровая установка ПВУ-2 состоит из иглофильтров, коллектора и насоса. Иглофильтр представляет

собой стальную трубу с отверстиями диаметром 10 мм в нижней части, заключенную в сетчатый фильтр. К нижней части стальной трубы привинчивается чугунная головка с шаровым клапаном и наконечник — сопло, имеющее три отверстия.

Таблица 14

Техническая характеристика иглофильтровых установок

Тип установки	Подача, м³/ч	Напор, м	Вакуумметрическая высота всасывания, м	Полезная глубина понижения в один ярус, м	Мощность электродвигателя, кВт	Длина коллектора, м	Количество иглофильтров	Диаметр коллектора, мм
ПВУ-2	280	15	8	5	55	219	150	219
ЛИУ-5	120	36	8	5	20	150	100	150
ЛИУ-3	60	23	8	5	10	150	60	150
ЛИУ-2	30	25	8	5	5,5	100	25	100

Иглофильтры устанавливаются способом гидравлического подмыва. Вода, подаваемая насосом (или от водопровода) по коллектору в стальную трубу фильтра, обтекает шаровой клапан и, поступая через сопло в забой скважины, размывает грунт и выносит его по затрубному пространству на поверхность. Иглофильтр длиной 9—10 м устанавливается в течение нескольких минут.

После погружения всех иглофильтров в грунт и подключения к коллектору насосы переключаются на откачку воды. Благодаря создаваемому вакууму шариковый клапан подымается вверх и вода из грунта проходит только через сетчатый фильтр. Откачиваемая вода поступает через сетчатый фильтр и отверстия в стальной трубе в иглофильтр, по нему в коллектор и выдается на поверхность. Иглофильтр понижает уровень воды в среднем на 7,5 м, что обеспечивает осушение внутри оконтуренной площади на 4—4,5 м.

Легкая водопонижающая иглофильтровая установка ЛИУ-5 (рис. 41) предназначена для понижения грунтовых вод с поверхности и на уступах котлованов, траншей и карьеров. Для производства осушительных работ при проходке шахт и в карьерах получила применение легкая иглофильтровая установка ЛИУ-3 с самовсасывающим вихревым насосом и меньшим количеством фильтров. Для работы в подземных условиях создана более облегченная и менее энергоемкая иглофильтровая установка ЛИУ-2 с двигателем взрывобезопасного типа. В установке ЛИУ-2 напорный и всасывающий патрубки помещены таким образом, чтобы коллектор установки мог быть уложен вдоль горной выработки и не препятствовал работе подземного транспорта (см. табл. 14).

Схема расположения иглофильтров и глубина погружения

определяются требованиями производства. На земляных работах при укладке трубопроводов ниже уровня грунтовых вод при ширине траншеи до 3—4 м иглофильтры размещают в один ряд с одной стороны траншеи, ближе к ее борту. При ширине

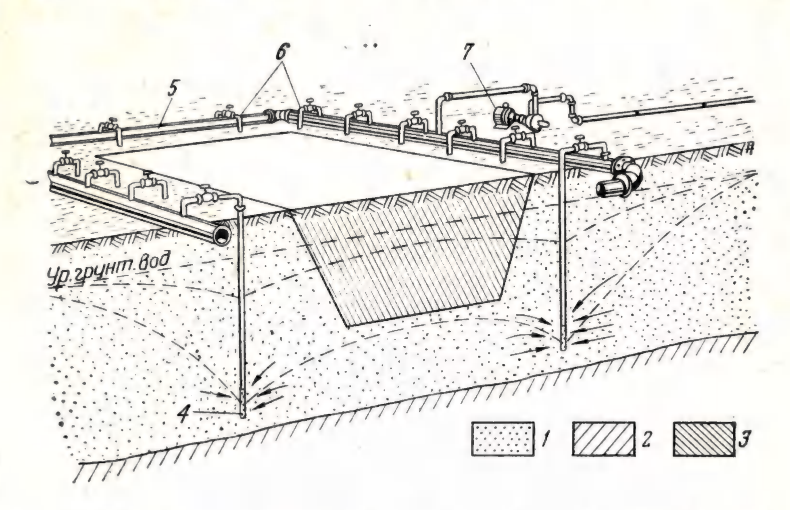


Рис. 41. Общий вид и схема действия легкой иглофильтровой установки:
1 — водоносные пески; *2* — водоупорное ложе; *3* — контур проектируемого котлована; *4* — фильтровая часть иглофильтра; *5* — коллектор; *6* — иглофильтры; *7* — самовсасывающий вихревой насос (стрелками показано направление движения грунтовых вод)

траншеи и котлованов до 30—40 м в грунтах с хорошей водоотдачей иглофильтры устанавливают в два ряда с обеих сторон котлована.

При необходимости понижения грунтовых вод до 4—4,5 м применяется одноярусная установка иглофильтров. При большей глубине понижения надо устанавливать иглофильтры в два-три яруса и больше.

Для одноярусного понижения уровня грунтовых вод с глубин, недоступных установкам ПВУ и ЛИУ, применяют эжекторные иглофильтры трех типоразмеров: ЭИ-2,5; ЭИ-4 и ЭИ-6 с высотой подъема соответственно 10, 24—17 и 24—17 м, расходом рабочей воды 3,6, 50 и 33 м³/ч при к. п. д. практически не выше 0,2.

Погружение эжекторных иглофильтров ввиду большой их длины производится с последовательным наращиванием звеньев. Эжекторными иглофильтрами можно понизить уровень грунтовых вод на глубину до 20 м и осушить слабопроницаемые водоносные породы с k=0,5—5 м/сут при мощности водоносного горизонта 5—20 м, но они очень громоздки, недостаточно надежны в эксплуатации, имеют крайне низкий к. п. д., и стоимость эксплуатации относительно высокая.

Значительное повышение водоотдачи и осушение супесчаных и суглинистых грунтов с коэффициентом фильтрации от 2—3 до 0,01 м/сут достигается при применении установок вакуумного водопонижения (легких иглофильтровых установок) УВВ-1 м и УВВ-2, а суглинистых и глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации меньше 0,01 м/сут, применяя электроосмотическое водопонижение [6]. Электроосмос (усиленное перемещение воды в грунте от положительного электрода к отрицательному) обеспечивается подсоединением иглофильтров к источнику постоянного тока.

Применение электроосмотического осушения рыхлой железной руды позволяет снижать ее влажность до размеров, приемлемых для металлургического процесса.

Горизонтальный дренаж неглубокого заложения и открытый водоотлив. Осушение карьера в особо благоприятных инженерно-геологических условиях ведения открытых работ осуществляется проведением в карьере дренажных и водоотводных канав и организацией открытого водоотлива. Это возможно в том случае, если борта и дно карьера слагают скальные и полускальные породы, галечники и крупнозернистые пески, легко отдающие подземную воду без существенного нарушения устойчивости откосов карьра.

Дренажные канавы (траншеи) глубиной от 2 до 15 м обычно закладываются на бровке и уступах карьера для осушения водоносных покровных отложений и по дну карьера для снятия напора в нижележащих обводненных породах. Такой дренаж имеет целью перехват потока подземных вод, движущихся к карьеру при его углублении. Угол заложения откосов дренажных канав должен обеспечить их устойчивость в условиях периодической очистки механизма. На Михайловском железорудном карьере такая дренажная канава глубиной 15 м была пройдена для защиты разрезной траншеи от поступления подземных вод сеноман-альбских песков мощностью 3—5 м. На Соколовском железорудном карьере заградительный дренаж в виде опережающих траншей глубиной 4—5 м закладывался впереди вскрышного уступа для осушения неогеновых песков мощностью 2—3 м с коэффициентом фильтрации 2—5 м/сут. По мере подработки очередной дренажной канавы параллельно ей закладывалась новая канава.

Открытый (пассивный) водоотлив является самым дешевым способом отвода подземных вод при разработке обводненных месторождений, однако его можно осуществлять только при полной уверенности, что устойчивость откосов рабочего и неподвижного бортов карьера при просачивании подземных вод через последние не будет нарушена.

Практика строительства и эксплуатации карьеров с открытым водоотливом, в частности угольных на Урале и маганцевых в Никополь-Марганцевом бассейне, показывает, какие

серьезные осложнения вызывает оползание рабочих бортов и внутренних отвалов, сложенных песчано-глинистыми породами. Они возникают при организации открытого водоотлива без перехвата дренажными сооружениями подземных вод до выхода их на откосах карьера.

Расчет притока в заградительную или контурную дрену. Ожидаемый приток воды в заградительную или береговую дрену, доведенную до водоупора из аллювиального или другого безнапорного водоносного горизонта (рис. 42), можно определить по формуле:

$$Q = kL\frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{l}, \tag{109}$$

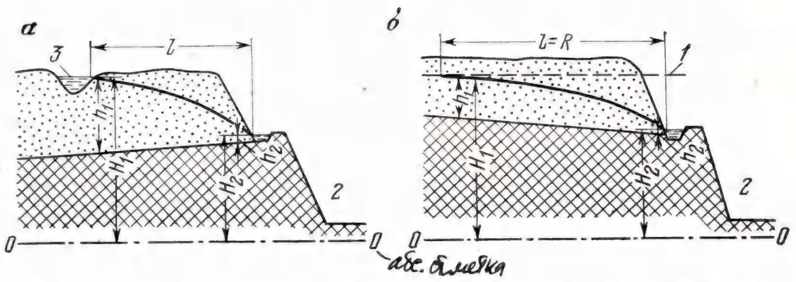


Рис. 42. Схема притока воды в береговую (*а*) и контурную (*б*) дрены

где k — коэффициент фильтрации аллювия, м/сут; L — длина дрены, принимающей фильтрационный расход из аллювия, м; h_1 — мощность водоносного слоя на урезе реки (береговая дрена) или в месте выклинивания кривой депрессии, т. е. на границе зоны влияния дрены (контурная дрена), м; h_2 — мощность водоносного слоя по урезу воды на откосе дрены, м (часто принимается равной нулю); H_1 и H_2 — абсолютные отметки уровня грунтовых вод в принятых сечениях, м; $l = R$ — расстояние между рекой и береговой дреной или радиус влияния заградительной дрены, м.

Если водоупор водоносного пласта залегает горизонтально, приток воды в дрену можно вычислить по формуле (37). стр. 64

Приток в кольцевой горизонтальный дренаж, доведенный до водоупора, будет тот же, что и в карьер, поэтому расчет его следует вести по тем же формулам (100), (101) и (103). Этими стр. 133 же формулами пользуются и для определения притока воды в шахту в целом, принимая за площадь колодца площадь участка шахты, ограниченную горизонтальными выработками. далее стр. 170

Горизонтальный дренаж в откосах карьера может применяться при проведении разрезной траншеи, после вскрытия водоносных песков кровли и в период эксплуатации карьера как самостоятельный дренаж в сочетании с открытым водоотливом или как вспомогательный дренаж для перехвата

«проскоков» подземных вод при осушении поля карьера водопонижающими скважинами. Для этого с уступа карьера проходят горизонтальные скважины вращательным или гидравлическим способом бурения и устанавливают фильтровые колонны в водоносном слое кровли полезного ископаемого (рис. 43).

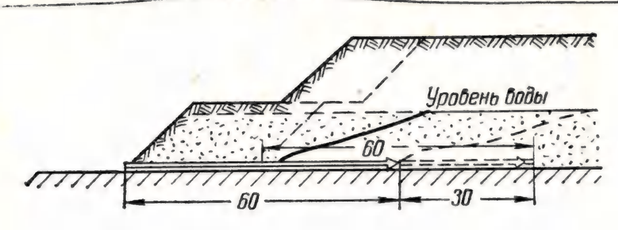


Рис. 43. Горизонтальная дрена, заложенная в пески кровли полезного ископаемого (пунктиром показано положение уступа, дрены и кривой депрессии на конец рассматриваемого периода)

Длина устанавливаемых горизонтальных дрен диаметром 108—215 мм зависит от технических качеств станка и должна быть возможно большей (не менее 30—150 м). Расстояние между дренами зависит от характера осушаемых пород и определяется по формулам; оно колеблется в пределах 20—70 м. Дрена прокладывается с уклоном не менее 0,003 в сторону уступа карьера для обеспечения скорости движения воды в дрене более 0,3 м/с, при которой не произойдет заиливания дрены выносимыми мелкими частицами песка.

Устройство горизонтальных скважин на нерабочем и рабочем бортах Лебединского карьера (КМА) было основано на принципе гидравлического бурения с одновременным механическим задавливанием фильтровой колонны, состоящей из щелевого фильтра диаметром 127 мм и гидронасадки с шаровым клапаном. Водоподающий резиновый шланг диаметром 50 мм соединялся с гидронасадкой и по окончании бурения извлекался из скважины. Бурение велось самоходным станком горизонтального гидравлического бурения СТО-5, изготовленного Старооскольским механическим заводом. Применение на Лебединском карьере горизонтальных скважин взамен иглофильтровых установок дало экономию около 1,3 млн. руб. Горизонтальные скважины проходились на Стойленском железорудном, Алексеевском марганцевом, Назаровском буроугольном и других карьерах СССР и в ГДР разными буровыми установками (СТО-5, БОС, МГБ-2, СБМ-3У и др.).

Отвод воды от горизонтальных скважин производится в водосборник карьера по трубам прибортового закрытого дренажа или по открытой траншее, расположенным вдоль осушаемого уступа.

Во избежание поломки экскаваторов, работающих на осу-

шаемых уступах карьера, желательно применять дренажные скважины с гравийным заполнителем, стеклопластиковые или другие неметаллические фильтры.

Для повышения эффективности осушения вместо обычных дрен следует применять горизонтальные вакуум-фильтры, имеющие короткую захватную перфорированную часть длиной 3—5 м и подключенные к насосной вакуумной установке.

С. В. Троянский [22] указывает на целесообразность бурения в песках горизонтальных дренажных скважин длиной до 80 м сжатым воздухом.

Учитывая большую эффективность горизонтальных скважин, простоту оборудования и невысокую стоимость по сравнению с вертикальным дренажем, их необходимо шире применять в качестве основных средств осушения в период эксплуатации карьера.

§ 44. Осушение месторождений подземным способом

Рассмотрим типы дренажных устройств и методы расчета водопритока в горные выработки.

Дренажные шурфы и скважины. Дренажные шурфы со штреками используются для непосредственного осушения поля карьера, в геологическом разрезе которого находятся устойчивые трещиноватые породы: песчаники, глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, известняки. В этих случаях дренажный шурф проходится на 10—20 м глубже предельного горизонта горных работ на подвижном борту, а нередко, для удлинения срока существования шурфа, — на неподвижном борту карьера.

Шурф дренирует прорезаемые им водоносные горизонты. Для улавливания поступающей воды в деревянном креплении шурфа делают отверстия, а в бетонном — вставляют небольшие трубки или забивные фильтры. Во избежание растекания и разбрызгивания воды по шурфу на трубки надевают шланги, а из отверстий вода собирается в желобки, устроенные ниже их в креплении. Из шлангов и желобков вода отводится по трубам в зумпф шурфа или водосборник.

От дренажного шурфа вкрест простирания пород проводится одна или несколько дренажных выработок (квершлагов), подходящих к карьеру ниже отметки нижнего горизонта открытых работ. Затем по простиранию пласта полезного ископаемого перпендикулярно первым выработкам закладываются еще один-два штрека. Обычно бывает достаточно этой системы осушительных выработок для обезвоживания пород, вскрываемых карьером (рис. 44). Для лучшего отвода подземных вод из осушаемой толщи по линии штрека, проложенного под карьером, через 200 м и более устанавливают сквозные фильтры, назначение которых — осушить всю вышележащую толщу пород и

разрабатываемый пласт. В некоторых случаях для этого проходят гезенк от горизонта работ до дренажного штрека. Для перехвата потока подземных вод, движущихся к карьеру в водоносном слое небольшой мощности, проводится водопреградительный штрек непосредственно в осушаемом слое. Стекающую

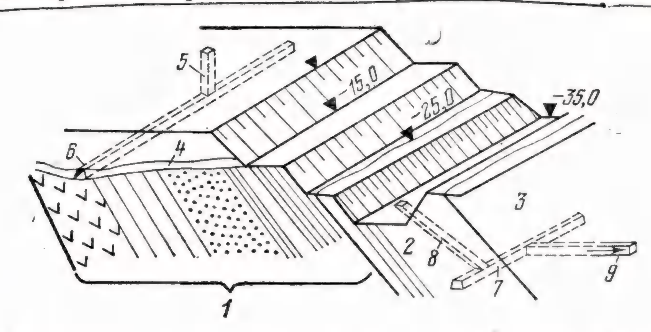


Рис. 44. Схема осушения угольного карьера дренажными шурфами и штреками (по И. П. Пономареву):

1 — коренные породы лежачего бока; *2* — уголь; *3* — коренные породы висячего бока; *4* — опоки; *5* — водоотливной шурф; *6* — дренажный штрек по наносам горизонта — 5,0 м; *7* — дренажный штрек по углю на горизонте — 65,0 м; *8* — дренаж по углю; *9* — квершлаг к дренажному шурфу

по штреку воду отводят в водосборник и откачивают насосами.

Как показал опыт эксплуатации угольных карьеров Урала, отсутствие дренажных устройств приводило к образованию оползней, которые нарушали работу карьеров.

Ожидаемый приток воды в дренажный шурф, ствол и дренажные штреки можно определить по формулам, приведенным в главе 6. При этом надо иметь в виду, что степень точности расчета зависит не только от точности величин, входящих в формулы, но и от учета гидрогеологических особенностей месторождения: размеров и условий питания водоносного горизонта, характера запасов подземных вод, связи подземных вод с поверхностными, скорости проведения горных выработок и других факторов.

Расчет притока воды в вертикальный ствол шахты. Вертикальный ствол шахты и шурф можно рассматривать как колодец. Для определения водопритока вычисляют максимальный ожидаемый приток, когда ствол доведен до проектной глубины, полагая при этом, что стенки его в нижней части водопроницаемы и свободно пропускают воду.

Приток в ствол, пересекающий безнапорный водоносный горизонт до водоупора (рис. 45, *а*), равен:

$$Q = \frac{1,36kH^2}{\lg R - \lg r}, \qquad (110)$$

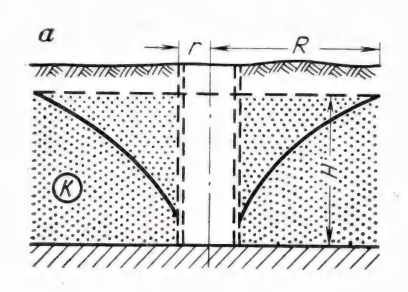
где k — коэффициент фильтрации, м/сут; H — мощность безнапорного водоносного горизонта, м; R — радиус влияния ствола,

определяемый по формуле, м; r — радиус ствола шахты (внешний радиус крепления), м.

Приток в ствол, пересекающий напорный горизонт до водоупора (см. рис. 45, *б*) составляет:

$$Q = \frac{1,36k\,(2H - M)\,M}{\lg R - \lg r}, \qquad (111)$$

где M — мощность водоносного пласта, м.



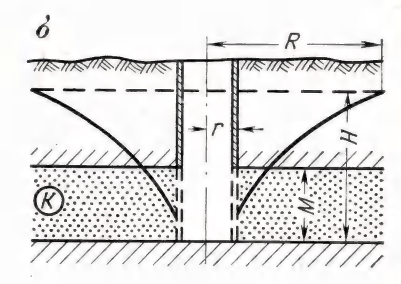


Рис. 45. Приток воды в вертикальную выработку, пересекающую водоносные горизонты до водоупора:

а — безнапорный водоносный горизонт; *б* — напорный водоносный горизонт

Приток в ствол, только вскрывающий напорный водоносный горизонт забоем, имеющим плоскую форму, равен (34):

$$Q = 2dSk,$$

где d — диаметр ствола шахты, м; S — понижение уровня воды, здесь величина напора над кровлей водоносного пласта, м.

Приток в ствол, пересекающий пласт, состоящий из нескольких водоносных слоев разной проницаемости, можно определить одним из двух методов в зависимости от гидрогеологических условий участка.

1. При неоднородной толще, сложенной слабоизолированными слоями с мало отличающейся проницаемостью, приток вычисляют по формуле (110) или (111), но под величиной k понимают средний коэффициент фильтрации водосодержащих пород, определяемый по формуле:

$$k_{\text{ср}} = \frac{k_1h_1 + k_2h_2 + \ldots + k_nh_n}{h_1 + h_2 + \ldots + h_n}, \qquad (112)$$

где h_1, h_2, ..., h_n — мощность отдельных водоносных слоев, м; k_1, k_2, ..., k_n — коэффициент фильтрации этих слоев, м/сут.

2. При наличии нескольких водоносных горизонтов, изолированных водонепроницаемыми слоями, или пластов, имеющих различную проницаемость и частично изолированных, величина притока вычисляется отдельно из каждого слоя или зоны по формулам (110) и (111), затем все притоки суммируются.

По данным контрольного бурения на месте заложения ствола шахты и проведенной при этом опытной откачки из совершенной скважины с максимально возможным понижением можно вычислить приток в ствол, определив сначала максимальный дебит скважины при понижении до почвы водоносного слоя, т. е. при $S=H$, переходя затем от максимального дебита скважины к притоку в ствол [17].

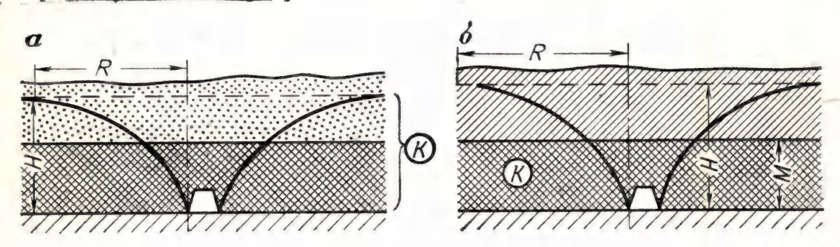


Рис. 46. Дренажный штрек заложен на водоупоре:
а — в безнапорном, *б* — в напорном водоносных слоях

Расчет притока воды в дренажный штрек. При определении притока воды в дренажный штрек необходимо учитывать гидравлические свойства осушаемого водоносного горизонта (безнапорный или напорный), положение штрека по отношению к нижнему водоупору водоносного пласта и количество сторон, с которых поступает вода в штрек.

Приток воды в дренажный штрек, проведенный в безнапорном водоносном пласте и заложенный на водоупоре (рис. 46, *а*) с двух сторон, равен

$$Q = Bk\frac{H^2}{R}, \quad (113)$$

где B — длина штрека, м; k — средний коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут; H — мощность водоносного пласта, м; R — предел действия штрека, аналогичный радиусу влияния колодца, м.

Величина R берется по практическим данным или приближенно вычисляется по формулам (24) или Лембке, учитывающим продолжительность водоотлива:

$$R = \sqrt{\frac{3Hkt}{\mu}}, \quad (114)$$

где t — время осушения, сут; μ — активная пористость (водоотдача) в долях единицы, определяемая (при отсутствии фактических данных) по табл. 12.

Если вода поступает в штрек с одной стороны, например в водопреградительный штрек, проведенный в наносах в период эксплуатации карьера (см. рис. 44), то величину притока, получаемую по формуле (113), надо уменьшить вдвое.

Приток с двух сторон в дренажный штрек, проведенный в

напорном водоносном пласте и доведенный до горизонтального водоупора (см. рис. 46, *б*), составляет:

$$Q = \frac{kB}{R}(2H - M)M, \tag{115}$$

где H — высота столба воды над нижним водоупором, м; M — мощность напорного водоносного горизонта, м.

Если штрек заложен выше водоупорного ложа, расчеты по формулам (113) и (115) дают завышенную величину притока.

Пример 1. Определить приток воды в вертикальный ствол шахты, доведенный до угольного пласта и остановленный на отметке 57 м. Диаметр ствола 4 м. Уровень воды I и II надугольных и III подугольного горизонтов стоит на отметке 80 м. Исходные данные приведены на рис. 47.

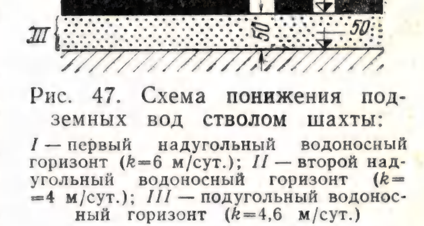


Рис. 47. Схема понижения подземных вод стволом шахты:

I — первый надугольный водоносный горизонт (k=6 м/сут.); *II* — второй надугольный водоносный горизонт (k=4 м/сут.); *III* — подугольный водоносный горизонт (k=4,6 м/сут.)

Решение. Определяем приток воды в ствол отдельно из каждого водоносного горизонта:

1) приток воды из надугольного безнапорного водоносного горизонта. Радиус влияния откачки из ствола определяем по формуле (24):

$$R = 2S\sqrt{Hk} = 2\cdot 7\sqrt{7\cdot 6} = 91 \text{ м} \approx 90 \text{ м}.$$

Приток в ствол по формуле (110) равен:

$$Q_1 = \frac{1{,}36kH^2}{\lg R - \lg r} = \frac{1{,}36\cdot 6\cdot 7^2}{\lg 90 - \lg 2} = 242 \text{ м}^3/\text{сут};$$

2) приток воды из надугольного напорного водоносного горизонта. Радиус влияния откачки из ствола определяем по формуле (24):

$$R = 2S\sqrt{Hk} = 2\cdot 17\sqrt{17\cdot 4} = 280 \text{ м}.$$

Приток в ствол при пересечении этого горизонта определяем по формуле (111):

$$Q_2 = \frac{1{,}36k(2H - M)M}{\lg R - \lg r} = \frac{1{,}36\cdot 4(2\cdot 17 - 4)4}{\lg 280 - \lg 2} = 304 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Общий приток воды в ствол из обоих надугольных водоносных горизонтов равен:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 242 + 304 = 546 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Подугольный водоносный горизонт стволом не пересекается, но из него возможен прорыв воды в ствол. Величину притока из подугольного водоносного горизонта определяем по формуле (34):

$$Q_3 = 2dSk = 2\cdot 4\cdot 25\cdot 4{,}6 = 920 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

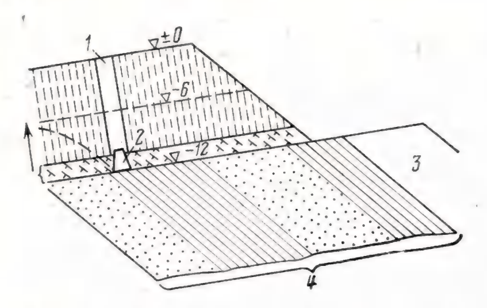


Рис. 48. Схема расположения дренажных выработок:

1 — шурф; *2* — штрек; *3* — уголь; *4* — коренные породы лежачего бока

Суммарный возможный приток воды равен $546+920=1466$ м³/сут.

Пример 2. Определить приток из опокового напорного водоносного горизонта в водоотливной шурф и водопреградительный штрек длиной 200 м, проведенный вдоль лежачего бока на расстоянии 60 м от борта карьера (рис. 48). Коэффициент фильтрации опок 10 м/сут, мощность слоя опок 1,8 м.

Решение. Для определения притока воды в шурф предварительно, по формуле (24), определяем радиус влияния:

$$R = 2\cdot 6\sqrt{6\cdot 10} = 93 \text{ м}.$$

Приток воды в шурф составляет:

$$Q = \frac{1,36k\,(2H - M)\,M}{\lg R - \lg r} = \frac{1,36\cdot 10\,(2\cdot 6 - 1,8)\,1,8}{\lg 93 - \lg 2} = 150 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Приток воды в штрек до вскрытия карьером опок и коренных пород определяем по формуле (115):

$$Q = \frac{kB}{R}(2H - M)\,M = \frac{10\cdot 200}{93}(2\cdot 6 - 1,8)\,1,8 = 396 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

После вскрытия карьером опокового водоносного горизонта вода будет поступать в водопреградительный штрек только с одной стороны и приток в него будет равен 198 м³/сут.

Забивные фильтры. Назначение забивных фильтров — вскрыть и осушить водоносные пески, залегающие на расстоянии до 10—15 м от горной выработки.

Забивные фильтры обычно устанавливаются из штрека или штольни в кровлю выработки для осушения песков кровли, залегающих или непосредственно над пластом полезного ископаемого, или отделенных от последнего прослоем глины небольшой мощности (рис. 49).

Забивной фильтр представляет собой железную трубу диаметром 25—50 мм, реже 63 мм, вставляемую в скважину, заранее пробуренную из штрека. Фильтр состоит из отрезков газовых тонкостенных труб длиной 1,2—1,5 м, соединяемых муфтами или ниппелями. Общая длина забивного фильтра равна расстоянию от кровли штрека до почвы водоносного пласта плюс 0,5—1,5 м.

Расстояние между фильтрами определяется расчетом или принимается по практическим данным. В среднем оно равно 10—30 м в зависимости от водопроницаемости и водоотдачи осушаемых пород. В местах понижений почвы водоносных песков и в зонах их большой водопроницаемости, а также вблизи тектонических нарушений, характеризующихся большей водообильностью, расстояние между фильтрами берется еще меньше. В местах резкого уменьшения мощности глин и предохранительного целика в кровле штрека для снятия опасных напоров создают узлы забивных фильтров по два — пять фильтров в каждом. Сразу после вскрытия месторождения на участке работ первой очереди забивные фильтры устанавливаются в большем количестве при меньших расстояниях между ними.

Рис. 49. Установка забивного и аэрирующего фильтров в кровлю и забивного фильтра в почву пласта:

1 — забивной фильтр в кровлю; *2* — аэрирующая скважина; *3* — фильтр в почву; *4* — кондуктор-сальник; *5* — гравийная засыпка; *6* — воздушная линия

Верхнее звено фильтра, входящее в водоносный слой, имеет сверху оттянутый конец и перфорируется на длину до 1/4—1/5 мощности водоносного слоя, но не менее 500 мм, круглыми отверстиями диаметром 3—4 мм или щелевыми отверстиями шириной 2—3 мм и длиной 20—100 мм. Фильтр не покрывается сеткой (рис. 50). Перфорированная часть забивного фильтра длиной 0,5—1,5 м практически достаточна для осушения водоносного пласта мощностью 5—10 м.

При осушении мелко- и среднезернистых песков в Подмосковном угольном бассейне хорошо работают фильтры с отверстиями диаметром 2—3 мм. В крупнозернистых гравелистых песках диаметр отверстий может достигать 6 мм. Отверстия могут быть расположены в шахматном порядке и по прямоугольнику. В табл. 15 приведено количество круглых отверстий на 1 м длины фильтра при общепринятой скважности 5 и 7%.

Забивные фильтры в кровле устанавливаются следующим образом. Предварительно бурится скважина снизу вверх в пла-

Таблица 15

Количество отверстий на 1 м длины фильтра

Диаметр фильтра, мм	Скважность 5%		Скважность 7%	
	d=3 мм	d=4 мм	d=3 мм	d=4 мм
25 (1″)	550	310	780	440
38 (1,5″)	830	470	1150	650
50 (2″)	1100	625	1550	880

сте полезного ископаемого и в вышележащих глинах. Бурение скважины прекращается, когда расстояние от бура до почвы водоносного песка составит не более 10—15 см. По окончании бурения буровой инструмент сразу же извлекается и немедленно, во избежание сильного выноса песка, устанавливается фильтр так, чтобы в пески проникла только его перфорированная часть. Для плотности прилегания забивного фильтра к стенкам скважины, чтобы не происходило их размыва, на муфту, расположенную ниже почвы водоносного слоя, перед установкой фильтра навертывают плотный пеньковый сальник. Нижний конец глухих труб фильтра плотно укрепляется в устье скважины при помощи деревянных клиньев и пакли. Проходка скважин для забивных фильтров глубиной 10 м и более осуществляется станками БС-2, БНП-15, ДС-3 и ДС-4, а при малой глубине — вручную. Габариты станков позволяют использовать их в однопутной выработке, не мешая откатке.

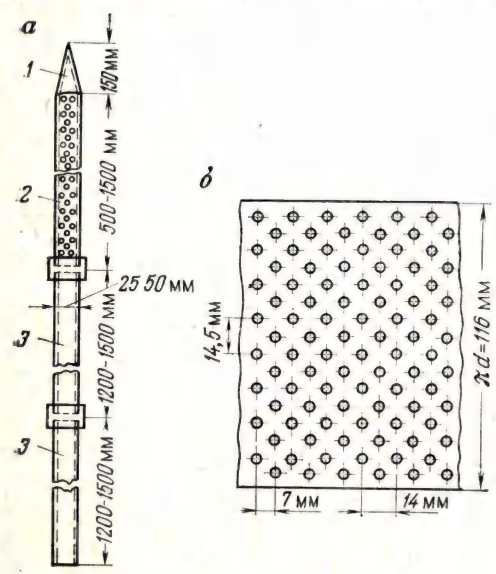


Рис. 50. Забивной фильтр:

а — общий вид; *б* — развертка фильтра; d=37 мм при скважности C=7%: *1* — оттянутый конец фильтра; *2* — рабочая часть; *3* — глухая часть

Забивные фильтры устанавливаются ближе к одной из сторон штрека, чтобы не мешать движению. Вода из забивного фильтра поступает самотеком в металлический трубопровод или деревянный лоток, или по резиновому шлангу в дренажную канаву.

Забивные фильтры, несмотря на малые размеры, выдают значительное количество во-

ды. Их дебит может колебаться от долей до 5—7 м³/ч и более. Радиус влияния забивного фильтра обычно не превышает 50—100 м. Максимальный дебит последних устанавливается обычно в течение первых нескольких дней работы. В этот период в водоносном слое создается естественный песчаный фильтр вокруг трубы фильтра. При дальнейшей работе фильтров по мере осушения пород дебит их постепенно уменьшается (рис. 51). Снижение дебита забивных фильтров продолжается до тех пор, пока водоносный горизонт полностью не будет осушен. Продолжительность работы фильтров и срок осушения зависят от количества установленных фильтров и гидрогеологических условий осушаемого участка. Осушение мелко- и тонкозернистых песков протекает медленно и длится от 6 до 12 месяцев. Средний срок действия забивного фильтра равен 3—4 месяцам.

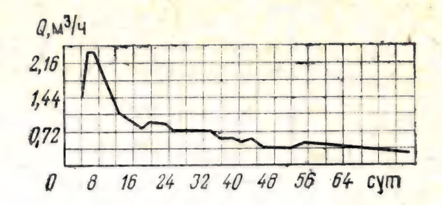


Рис. 51. Типичный график дебита забивного фильтра.

В первые часы работы через фильтры вместе с водой поступает 0,2—1,0 м³ песка. Вынос такого объема песка является нормальным. Около фильтра в водоносном песке образуется устойчивая каверна, заполненная водой, что обеспечивает приток дренируемой воды в горную выработку. Если вынос песка будет больше по объему и продолжится дольше, фильтр надо ликвидировать и заложить вблизи новый.

Аэрирующие скважины. При осушении забивными фильтрами водоносного пласта, залегающего в кровле полезного ископаемого, поры и трещины пласта освобождаются от воды. Если они не заполняются воздухом, то в осушаемой части пласта создается разрежение, которое отрицательно сказывается на процессе осушения и уменьшает дебит забивных фильтров.

Для повышения производительности забивных фильтров в 2—3 раза и более равномерной их работы в кровлю штрека устанавливают аэрирующие скважины, по которым нагнетается воздух в осушаемую зону песчаного пласта под давлением 0,15—0,2 МПа и более.

В конструктивном отношении аэрирующие скважины отличаются от дренажных забивных фильтров несколько большей длиной и устанавливаются в штреках примерно через 120 м между забивными фильтрами и ближе к границе осушаемого участка. В одной из шахт Подмосковного бассейна при нагнетании воздуха в течение двух часов под давлением 0,1 МПа дебит забивных фильтров увеличился в 7 раз. Нагнетание целесообразно проводить при осушении напорных горизонтов, там, где забивные фильтры не выходят из водосодержащей части

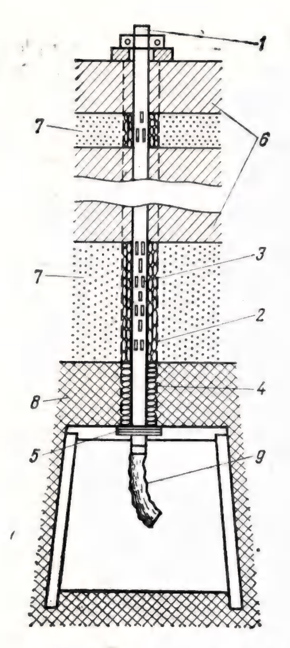


Рис. 52. Схема установки сквозного фильтра:
1 — труба фильтра (4″); 2 — гравийная обсыпка; 3 — отверстия фильтра; 4 — пенковый сальник; 5 — фланец; 6 — сухие породы; 7 — водоносный песок; 8 — бурый уголь; 9 — отводный шланг

слоя, а в кровле и почве осушаемых песков с коэффициентом фильтрации 0,5—10 м/сут залегают воздухонепроницаемые породы (например, глины).

Забивные вакуум-фильтры. Для повышения производительности забивных фильтров и ускорения процессов осушения надугольных песков С. В. Троянский в 1939 г. предложил конструкцию фильтра, позволяющую искусственно создавать разрежение (вакуум) в самом фильтре. Такой забивной фильтр, в глухой части которого создается разрежение воздуха, называется *вакуум-фильтром* [22].

При работе вакуум-фильтра вокруг него в пласте образуется вакуум-зона. Если в это время над уровнем грунтовых вод при помощи аэрирующей скважины поддерживается атмосферное давление, то величина напора в пласте, при котором начинает работать фильтр, увеличивается на величину вакуума, и дебит вакуум-фильтра становится больше дебита обычного забивного фильтра. Величину вакуума в фильтре практически можно довести до 6—8.

Вакуум-фильтр представляет собой обычный забивной фильтр с длиной перфорированной части 0,5—1,5 м, оборудованный проходным краном и манометром для поддержания и замера заданного давления. Чем ближе к подошве штрека стоит кран и длиннее патрубок, тем большее разрежение достигается в фильтре.

Установлено, что в Подмосковном и Днепровском угольных бассейнах дебит вакуум-фильтров по сравнению с дебитом обычных забивных фильтров увеличивается в 2,5 раза, а радиус влияния в 2—3 раза; время осушения месторождения при этом также сокращается в несколько раз. Положительные результаты дало вакуумирование скважин и нагнетание воздуха при осушении слабопроницаемых песков и рудной толщи в Никополь-Марганцевом бассейне и в КМА. Выноса песка при применении фильтров с гравийной засыпкой не происходит.

При осушении месторождений применяются индивидуально действующие вакуум-фильтры и насосные вакуумные установки.

Сквозные фильтры. Сквозной фильтр представляет

собой дренажную скважину, пробуренную с поверхности земли до штрека или штольни и оборудованную фильтром с перфорированной частью против каждого из надугольных водоносных горизонтов (рис. 52). По сквозному фильтру вода из осушаемых водоносных горизонтов отводится в подземные выработки. Одновременно через него в осушаемые слои свободно поступает воздух. Сквозные фильтры можно применять для отвода вод с поверхности и с рабочих уступов, а также для проветривания подземных выработок.

Сквозные фильтры устанавливаются на расстоянии 50—100 м (реже 200 м) друг от друга в зависимости от условий залегания и водопроницаемости осушаемых пород. Для большей эффективности сквозные фильтры следует располагать в местах понижения почвы водоносного горизонта. Дебит сквозных фильтров, заложенных в песках и галечниках, колеблется от 0,6 до 180 $м^3/ч$ и в среднем равен 20—30 $м^3/ч$.

Производительность сквозного фильтра можно увеличить, создав в нем вакуум путем закрытия верха фильтра у поверхности земли воздухонепроницаемой пробкой и опускания нижнего конца фильтра в сосуд с водой.

Для установки сквозного фильтра пробуривается скважина диаметром 150—300 мм (6—12″) до пласта полезного ископаемого или перекрывающих его глин, которая крепится обсадными трубами. Затем в скважину опускается фильтровая колонна труб диаметром 75—150 мм (3—6″) с перфорированной частью против толщи водоносных песков. Ниже водоносных песков скважина нередко бурится диаметром 60—87 мм и обсаживается трубами того же диаметра с сальниками, чтобы избежать просачивания воды по затрубному пространству. По этим трубам вода из сквозного фильтра стекает в штрек. В штреке выходное отверстие фильтра снабжается широким фланцем, подпираемым снизу стойками, поддерживающими пеньковый сальник.

По конструкции сквозные фильтры мало отличаются от водопонижающих скважин. Нередко сквозные фильтры проходятся в нескольких метрах от трассы дренажных штреков и подсекаются от штреков специальными нишами. В Комбинированных системах осушения в качестве сквозных фильтров используются подсекаемые штреками водопонижающие скважины.

Водопонижающие колодцы и забивные фильтры в почву. В карьерах при наличии напорных вод в почве пласта полезного ископаемого наряду с его переувлажнением будут происходить деформации почвы карьера и прорывы воды. Кроме того, насыщенные водой пески будут ненадежным основанием для работающих в карьере механизмов и устраиваемых внутренних отвалов.

Для обеспечения нормальных условий ведения горных работ напор водоносного горизонта снижается до почвы штрека или

до почвы разрабатываемого пласта и ниже. Полного осушения водосодержащих пород, залегающих ниже полезного ископаемого, не производят, так как в этом нет необходимости.

Напор подземных вод, залегающих ниже почвы пласта, при подземном способе осушения снижается при помощи забивных фильтров и водопонижающих колодцев. В редких случаях могут применяться дренажные канавы. Расстояние между забивными фильтрами в штреках и штольнях принимается от 15 до 40 м и определяется опытным путем или расчетом. Конструкция забивных фильтров в почву мало отличается от забивных фильтров в кровлю. Диаметр труб принимается 50—75 мм (2—3″), а длина перфорированной части 2—3 м (см. рис. 49).

При мелкозернистых песках во избежание больших выносов рекомендуется устраивать гравийный фильтр, т. е. обсыпать забивной фильтр снаружи. В этом случае для забивного фильтра бурится скважина диаметром 150 мм (6″) и обсаживается трубами, затем в скважину устанавливается фильтр диаметром 50 мм (2″), зазор между обсадными трубами и фильтром заполняется гравием, а обсадные трубы извлекаются. При устройстве забивных фильтров в известняках трубы перфорируются отверстиями диаметром до 20 мм или сечением 5×20 мм.

Водопонижающие скважины и колодцы располагаются в специальных камерах, а в отдельных случаях — непосредственно в горных выработках. Закладываются они на глубину 1—3 м и более в среднем через 100—150 м в понижениях почвы пласта с расчетом, чтобы при меньшей глубине колодца были наибольшие понижения напорного уровня и радиус действия колодца.

В обводненных песках и при глубине колодцев более 3—4 м шихтные колодцы заменяются трубчатыми диаметром 150—250 мм. Конструкция фильтров понижающих трубчатых колодцев и техника их установки те же, что и для сквозных фильтров.

Проходка трубчатых понижающих колодцев в песчаных породах на глубину до 20 м значительно облегчается при применении проходческого аппарата системы В. Р. Булдея (1952 г.) с размывающими соплами, при помощи которых вода, подаваемая под давлением 0,6—0,7 МПа, размывает песок в забое колодца и выносит его наверх.

Для бурения трубчатых колодцев диаметром 195—245 мм в рыхлых породах, а также в плотных глинах и известняках создан станок БТК-20М. Небольшая ширина станка позволяет бурить им в однопутевой выработке, не препятствуя движению подземного транспорта.

Приток воды в одиночный водопонижающий колодец, вскрывший подугольный напорный водоносный пласт, но не углубленный в него, подсчитывается по формуле (34).

Дренажные канавы проходятся в штреках и штольнях как

для дренажа вод вблизи ниже расположенного напорного водоносного горизонта, так и для отвода собирающейся в выработках воды к перекачечным колодцам или к центральному водосборнику.

Дренажная канава прокладывается с уклоном не менее 0,001—0,002, имеет ширину 0,5 м и глубину 0,5—1,0 м. Учитывая сравнительно длительный срок службы, канава крепится деревянными рамками, установленными на расстоянии 0,5—1,0 м друг от друга, и затягивается горбылем. Сверху канава закрывается досками и засыпается слоем фильтрующего материала толщиной около 30 см.

Расчет схемы дренажной установки при подземном осушении состоит из определения ожидаемого притока в горные выработки из водоносных горизонтов, залегающих в кровле и почве полезного ископаемого, а также потребного количества дренажных сооружений для проведения осушения в установленные сроки.

Приток воды в карьер, шахту или систему дренажных горных выработок можно определять по методу «большого колодца», рассматривая осушаемую площадь, оконтуренную горными выработками, как колодец большого диаметра, который дренирует все водоносные горизонты, обводняющие полезное ископаемое. Порядок расчета по этому методу приведен в § 43.

При расчетах водопонижения надо учитывать, что остаточный напор смежных водоносных горизонтов должен быть не больше некоторой допустимой величины, удовлетворяющей условиям прочности предохранительного целика, оставляемого в подошве карьера или штрека [2, 24].

§ 45. Осушение внутренних отвалов

Наиболее распространенным типом деформации отвалов являются оползни, образующиеся в результате переувлажнения пород.

Для устойчивости отвалов необходимо, чтобы лежачий бок месторождения (чаще всего пески) был осушен, и подземные воды не выклинивались в откосе отвалов.

При веерной системе разработки карьера особое внимание должно уделяться осушению отвалов у поворотного пункта.

Внутренние отвалы надо предохранять от излишнего просачивания в них атмосферных осадков. Для этого необходимо укатывать поверхность отвала, покрывать образовавшиеся впадины глиной, обеспечивать быстрый спуск воды из них после дождя и снеготаяния по трубам или откачку воды насосом в общую водоотливную сеть карьера.

Поверхность отвала должна иметь уклон в сторону неподвижного борта для уменьшения просачивания осадков у переднего края откоса. На поверхности отвалов нельзя устраивать водоотводные канавы и прокладывать водоводы.

Вдоль всей линии примыкания внутренних отвалов к неподвижному борту и крыльям карьера должны прокладываться нагорные канавы, не допускающие поступления поверхностных вод к отвалам.

Внутренние отвалы должны предохраняться от поступления подземных вод висячего бока. Необходимо, чтобы откос нерабочего борта карьера, к которому примыкают внутренние отвалы, был сухой как до отсыпки отвала, так и после.

При наличии взаимосвязи между водоносными горизонтами кровли и почвы пласта полезного ископаемого (что может нередко иметь место, так как неподвижный борт обычно расположен вблизи линии выклинивания отрабатываемого пласта) водоносный горизонт в кровле полезного ископаемого вдоль борта карьера может осушаться путем снижения напора в песках почвы. Напор в свою очередь снижается откачкой воды насосами из водопонижающих скважин, пройденных с уступа на неподвижном борту, или из ряда понижающих скважин, пройденных из парных дренажных штреков, заложенных вдоль борта и берущих начало у ствола дренажной шахты.

При отсутствии гидравлической связи между водоносными горизонтами почвы и кровли осушение песков кровли и перехват подземного потока ведутся посредством парных штреков, проводимых в пласте полезного ископаемого вдоль борта карьера, и установки забивных вакуум-фильтров в кровлю.

Для перехвата вод в пласте, залегающем в кровле полезного ископаемого на нерабочем борту карьера, где нет заградительного дренажного штрека, на специальной берме закладывается присклонный дренаж в виде гравелистой отсыпки и канавы с отводом воды в прибортовую канаву.

Внутренние отвалы должны предохраняться от поступления напорных вод почвы. Понижение напора вод песков, лежащих ниже почвы пласта полезного ископаемого, необходимо вести, если даже в момент засыпки их верхний слой был сухим, так как напор может вновь образоваться при прекращении откачки воды на расположенном невдалеке участке выемочных работ. Особенно важно проводить осушение, если породы почвы имеют падение в сторону развития отвала, чем облегчается сползание откоса.

Для осушения подошвы отвалов и снятия напора подугольных вод на украинских буроугольных карьерах параллельно фронту работ в подугольных песках канавокопателем проводились дренажные канавы глубиной от 1,5 до 3 м (рис. 53) на расстоянии 15—30 м в зависимости от продвигания угольного забоя. Канавы засыпались водопроницаемым материалом (щебнем, гравием и др.). На проходке дренажных канав использовались канавокопатели и экскаваторы типа драглайна. Для ускорения осушения наряду с канавами вдоль уступа на рас-

стоянии 150—200 м закладывались водопонижающие скважины, оборудованные насосами.

На Грушевском карьере марганцевых руд для осушения подрудных тонкозернистых песков и обеспечения устойчивости внутренних отвалов вдоль нерабочего борта проходился заградительный штрек с комплексом дренажных устройств, а в карьере, вскрывшем подрудные пески, параллельно фронту работ проходились прибортовые дренажные канавы глубиной 2—3 м, шириной по дну 1 м и с откосами 1 : 1. Оптимальное расстояние между дренажными канавами принято 80 м с расчетом проведения канав через одну заходку экскаватора. Для засыпки дренажных канав породами отвала применяют песчано-гравелистый материал толщиной 0,8 м, затем канавы доверху заполняют чистым песком или мелким ракушечником. В нижней части отвалов укладывается постель из дренирующего материала [24].

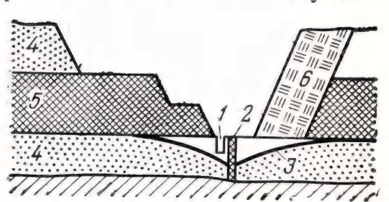


Рис. 53. Схема осушения основания внутренних стволов:

1 — дренажная канава; *2* — водопонижающая скважина; *3* — пониженный уровень подугольного водоносного горизонта; *4* — пески; *5* — уголь; *6* — внутренние отвалы

Если кровля песков лежачего бока понижается в сторону неподвижного борта, то в отвале будет незаметно накапливаться вода, что в дальнейшем может привести к образованию оползня. В таких случаях вдоль неподвижного борта и крыльев карьера устраивают контурный дренаж, представляющий систему вертикальных скважин.

Для быстрого отвода воды, попадающей в грунт внутренних отвалов, и предотвращения формирования в нем водоносного горизонта, способствующего образованию оползней, нижнюю часть отвала рекомендуется отсыпать грунтом, обладающим высокой водопроводимостью (гравием, крупнозернистым песком).

При насыпке отвалов ранее существовавшие и засыпаемые осушительные скважины должны быть тщательно закрыты металлическими или бетонными пробками или присоединены к металлическим трубам диаметром 100—200 мм, отводящим воду в свободное выработанное пространство. Для предохранения от повреждений эти трубы закапывают в грунт на глубину 0,5 м.

§ 46. Перспективы и пути совершенствования искусственного водопонижения

Разработка все большего количества месторождений полезных ископаемых со сложными гидрогеологическими условиями залегания, увеличивающиеся скорости продвигания фронта

вскрышных и добычных работ в карьерах и возрастающие нагрузки на уступы карьера повышают требования к проводимым осушительным мероприятиям, обеспечивающим устойчивость бортов карьера и высокую производительность труда.

При выборе способа осушения большое внимание должно уделяться учету геологического строения и гидрогеологических условий месторождений, согласованию осушительных мероприятий со сроками строительства карьера, со способами вскрытия и отработки полезного ископаемого. Все это определит стоимость осушительных работ.

Значительные затраты на осушение карьеров, достигающие на сложных месторождениях 15—20% капиталовложений на строительство и эксплуатационных расходов, вызывают необходимость совершенствования способов и систем осушения.

В благоприятных гидрогеологических условиях надо стремиться применять более экономичные и простейшие схемы поверхностного способа осушения в виде дренажных траншей, короткого ряда водопонижающих скважин, горизонтальных дренажных скважин в откосах и др. Применение наиболее дорогих подземного и комбинированного способов осушения должно быть строго обосновано.

Надо стремиться, где это возможно, осуществлять экономически более оправданное осушение с поверхности, совершенствуя технологию бурения водопонижающих скважин разной глубины, перехода на бурение бо́льшим диаметром и с обратной промывкой. Необходимо применять фильтры заводского изготовления, осуществлять выпуск наиболее совершенных износоустойчивых насосов с погружными электродвигателями, регулируемыми по производительности, обладающими разными техническими характеристиками для откачки из скважин различной глубины, включая глубины 600—1000 м, автоматизировать управление работой насосов водопонижающих скважин. Весьма перспективным является создание машин горизонтального бурения, особенно установок для бурения горизонтальных (лучевых) дрен из скважин большого диаметра (до 900 мм).

Подлежат широкому внедрению мероприятия по интенсификации водоотбора из вертикальных и горизонтальных дренажных скважин путем вакуумирования и нагнетания воздуха в осушаемый пласт, электроосмоса, особенно при осушении слабоводопроницаемых песков и пласта полезного ископаемого. Для повышения производительности скважины в песках надо применять свабирование, принудительный размыв водой и заполнение образовавшихся полостей гравием, образование дренажных каверн. В скальных породах для интенсификации дренажных устройств следует проводить гидравлический разрыв пласта, торпедирование и прострел скважин; в карбонатных породах — солянокислотную обработку скважин.

Необходимо приступить к применению многозабойных водо-

понижающих скважин (лучевых водозаборов) с несколькими лучами дренажных скважин, пробуренными горизонтально или наклонно вниз из основного вертикального ствола.

При проектировании осушительных мероприятий следует широко применять методы моделирования на приборах ЭГДА и электроинтеграторах.

§ 47. Применение барражных завес для защиты карьеров от подземных вод

Весьма перспективным методом борьбы с подземными водами, поступающими в карьер, является оконтуривание всего поля или участка карьера противофильтрационной завесой — водонепроницаемым барражом, ограждающим участок горных работ от поступления естественных ресурсов подземных вод со стороны. В этом случае понадобится откачивать только статические запасы подземных вод, имеющихся непосредственно на поле карьера, составляющих около 10% всех обычно откачиваемых притоков воды в карьер.

Барражные завесы (от французского barrage — заграждение, запруда) применялись в горном деле только при проходке стволов и капитальных выработок в сильно обводненных породах. В последнее время в СССР, Венгрии, Италии, США, Франции, ФРГ, Японии признано экономически целесообразным и технически возможным строить барражные завесы на крупных карьерах при неглубоком залегании водоносных горизонтов (до 50 м, реже от 50 до 100 м). Особенно перспективно создание барражей для ограждения карьеров от поступления воды из близлежащих водоемов, а также в тех случаях, когда осушение карьерного поля приводит к региональному истощению водоносных горизонтов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения в районе месторождения.

Устройство барражей не исключает дополнительного заложения дренажных скважин для осушения пород внутри завесы и снижения уровня подземных вод на неогражденных барражом границах карьерного поля.

По технологии сооружения барражных завес и применяемому материалу различают:

— инфузионные (от латинского infusus — влитый, засыпанный куда-либо) или заливные;

— инъекционные (от латинского injectio — нагнетаю, вспрыскиваю) или нагнетательные;

— криогенные (от греческого kryos — холод, лед + genos — рождение) или ледопородные.

Каждый тип завесы применяется в зависимости от гидрогеологических условий, имеет свои преимущества и недостатки [2].

В обводненных песчаных, гравелистых или галечных поро-

дах возводят инфузионные барражи, представляющие собой узкие траншеи и щели, пересекающие их до почвы водоносного пласта, заполняемые смесью глин, глиноцементным раствором, тканями, пропитанными битумом, рулонным синтетическим материалом [21].

Наряду с траншейно-щелевыми барражами (шириной 0,5—0,7 м), сооружаемыми траншеекопателями разных марок и барражными машинами, применяются скважинно-щелевые барражи (шириной 0,4—1,2 м), сооружаемые специальными буровыми станками ударного и вращательного действия.

В скальных трещиноватых, закарстованных и грубообломочных породах возводят инъекционные завесы путем нагнетания через скважины специальных закрепляющих растворов, заполняющих поры и полости в обводненных породах, образуя прочные водоустойчивые соединения. Применяется цементация, глинизация, битумизация, силикатизация и смолизация или их сочетание. К недостатку этого способа относится возможность неполного смыкания цилиндров закрепленных пород и образование водопроницаемых щелей.

Криогенные барражи возводят путем понижения температуры пород и замораживания содержащейся в порах и трещинах воды через скважины, пробуренные на расстоянии 1—1,5 м. Они применяются в карьерах при проходке стволов дренажных шахт. Сооружение барражей вокруг карьеров целесообразно в районах многолетней мерзлоты.

Расчеты барражных завес и применяемое оборудование для их сооружения приведены в специальной литературе [2, 21 и др.].

Проектные проработки строительства барражных завес вместо дренажных систем, выполненные по ряду карьеров (Лебединского и Бакчарского железорудных, Бейского угольного и др.), показали их экономическую эффективность [2].

§ 48. Защита карьеров от поверхностных вод

Защита карьера от поверхностных вод заключается в проведении следующих мероприятий:

1) ограждение карьера от поверхностных вод, стекающих с водосборной площади;

2) осушение поля карьера;

3) отвод рек с территории карьера.

Ограждение карьера от поверхностных вод, стекающих с водосборной площади. Для отвода поверхностных вод, стекающих к карьеру с более возвышенных мест водосборной площади в период весеннего снеготаяния и после ливней, проводятся нагорные канавы. Сечение последних рассчитывается по максимальному притоку и допустимой скорости течения воды в них. Максимальный приток воды в нагорную канаву наблюдается в период весеннего снеготаяния (от

талых вод) или при стоке ливневых вод. При отсутствии фактических данных максимальные расходы вычисляются по формуле Д. Л. Соколовского и ведомственным нормам.

Нагорные канавы проектируют с таким расчетом, чтобы они ограждали часть или все поле карьера от поверхностных вод в течение всего периода их эксплуатации.

Трасса нагорной канавы должна проходить под углом к горизонталям поверхности, чтобы был естественный уклон дна канавы, обеспечивающий быстрый отвод поверхностных вод за пределы карьера. При этом уклон должен быть таким, чтобы не происходило размыва канавы и не заиливалось бы ее дно.

Осушение поля карьера. При наличии на территории карьерного поля заболоченных участков, болот и небольших озер производится осушение поверхности, заключающееся в устройстве на пониженных участках осушительной канавы или системы канав, отводящих поверхностные воды за пределы поля карьера.

Если река или ручей, являющиеся водоприемником, не обеспечивают отвода сбрасываемых вод, производят регулирование последнего, заключающееся в очистке старого русла реки от ила, песка, водных растений, а также в выпрямлении русла для обеспечения максимально быстрого стока поверхностных вод и предотвращения больших разливов реки в весенний период. В отдельных случаях берега реки ограждаются земляными дамбами.

Отвод рек с территории карьера. Часто участки месторождения полезного ископаемого, наиболее благоприятные для разработки открытым способом, располагаются в долинах рек и ручьев, т. е. там, где протекают постоянно или временно действующие водотоки. Чтобы не оставлять целиков под водотоками, что весьма осложняет ведение открытых работ при значительных потерях полезного ископаемого, часто производят отвод реки или ручья за пределы карьерного поля.

Трасса водоотводного канала должна брать начало выше карьерного поля и проходить за границей возможных открытых разработок в течение ближайших 50 лет. Продольный уклон и сечение водоотводного канала выбирают с расчетом, чтобы вода отводимой реки свободно и быстро пропускалась по каналу без угрозы его размыва и заиливания. На ряде месторождений это достигается сохранением продольного уклона и сечения старого русла реки для отводного канала. В карстовом районе речные воды эффективнее отводить по трубам.

§ 49. Отвод откачиваемых вод и их учет

При осушении месторождений полезных ископаемых очень важно правильно организовать отвод откачиваемых вод. Вода, откачиваемая из скважин, расположенных на поверхности зем-

ли, отводится обычно по канавам, прокладываемым по направлению уклона местности в ближайшую балку или речку, расположенную вне осушаемого участка. Размеры и форму канав определяют расчетом исходя из количества откачиваемой воды и допустимой скорости течения. Ширина канавы по дну должна быть не менее 0,4 м, глубина — не менее 0,4 м, откосы канав — не менее 1 : 0,75, уклон канав — не менее 0,002. Если на поверхность земли выходят пески, вода отводится по водонепроницаемому лотку или напорному трубопроводу, так как должна исключаться возможность питания горизонтов подземных вод.

Вода, откачиваемая из вертикальных скважин, заложенных с уступа карьера, и из горизонтальных скважин, установленных в песках кровли полезного ископаемого, отводится по канаве к временной насосной установке на уступе или в выработанном пространстве.

Нельзя допускать стихийного стока воды по откосам в выработанное пространство во избежание размыва откоса и увлажнения пород. Воду, поступающую в выработанное пространство из канав и дрен, заложенных в основании внутренних отвалов, отводят по канавам к центральной или участковой передвижной насосной станции. Атмосферные осадки, выпадающие непосредственно на территории карьера, отводят и откачивают вместе с водами лежачего бока. Производительность насосной станции должна обеспечить откачку максимального суточного притока воды за 20 ч (Правила технической эксплуатации для предприятий, разрабатывающих месторождения открытым способом, 1963 г.).

Центральная насосная станция карьера располагается в выработанном пространстве вне участка внутренних отвалов, по возможности в наиболее пониженной части почвы полезного ископаемого. От центральной насосной станции вода из карьера по трубопроводу подается на нерабочий борт вне участка внутренних отвалов на расстояние не менее 150—200 м от верхней бровки борта при наличии слабопроницаемых покровных отложений и не менее 300—400 м при их отсутствии. Далее по открытой канаве вода сбрасывается в балку или речку.

На центральной и передвижных насосных установках в карьере и в дренажной шахте должен вестись систематический учет количества откачиваемой воды (притока воды в карьер или шахту) и продолжительности работы насосов.

Суммарный приток или приток на отдельном участке карьера можно определить по производительности и продолжительности работы насосов, пользуясь уравнением:

$$Q = \frac{Q_1T_1 + Q_2T_2 + \ldots + Q_nT_n}{T}, \qquad (116)$$

где Q_1, Q_2, ..., Q_n — производительность каждого из насосов 1, 2, ..., n, м³/ч; T_1, T_2, ..., T_n — продолжительность работы каж-

дого из насосов за время T, ч; T — время, в течение которого велись наблюдения за работой насосов (обычно берется шестичасовая смена), ч.

Для точности определения необходимо, чтобы производительность насосов, зависящая от режима их работы, бралась не по паспорту, а устанавливалась каждые 1—3 месяца путем непосредственных наблюдений, например при помощи водослива.

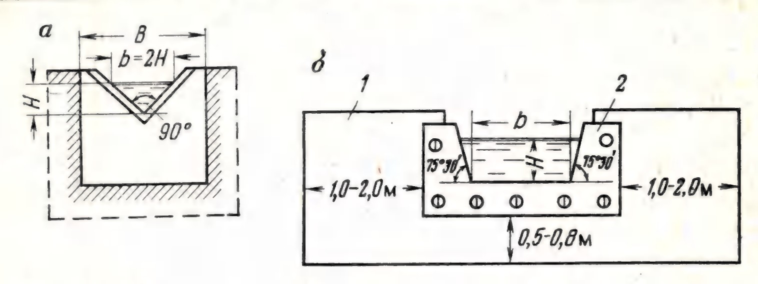


Рис. 54. Треугольный (*а*) и трапецеидальный (*б*) водосливы:
H — напор воды; b — ширина водослива поверху; B — ширина канавы; *1* — деревянный щит; *2* — железная рама

Количество откачиваемой воды часто измеряется при помощи водослива. Для определения суммарного количества откачиваемой воды из карьера или дренажной шахты водослив устанавливают на земной поверхности в канаве вблизи сброса в нее откачиваемой воды из напорного трубопровода.

Водосливы изготовляют из листового железа, привинчивают к деревянному щиту и устанавливают в водоотливной канаве так, чтобы уровень воды в канаве за водосливом стоял ниже порога водослива.

Применяют треугольный, трапецеидальный или прямоугольный водосливы.

Треугольный водослив (рис. 54, *а*) удобен для измерения расхода воды менее 0,5 м³/с. Расход водослива с углом выреза в 90° определяют по формуле:

$$Q = 1{,}4H^2\sqrt{H}, \qquad (117)$$

где H — высота напора над вершиной угла выреза, измеряемая по рейке на расстоянии 0,8—1,0 м выше водослива, м.

Трапецеидальный водослив (рис. 54, *б*) удобен для замера расхода воды до 1 м³/с. Расход трапецеидального водослива в тонкой стенке при наклоне боковых стенок железной рамы 1 : 0(25 или угле 75°30′ и при $b \geqslant 3H$ равен:

$$Q = 1{,}86bH\sqrt{H}, \qquad (118)$$

где b — ширина порога, м; H — высота напора, измеряемая на расстоянии 1—2 м от водослива, м.

Прямоугольный водослив с шириной порога до 1 м и вертикальными боковыми стенками при напоре над порогом водослива до 0,30 м служит для замера расходов до 300 л/с.

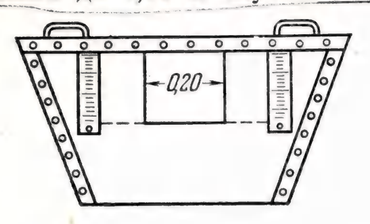


Рис. 55. Переносная водосливная рамка

Для замера откачиваемой воды, стекающей по канаве с отдельных участков карьера или дренажной шахты, где по ходу работ неудобно ставить постоянный водослив, пользуются переносной водосливной рамкой (рис. 55), изготовленной из листового железа толщиной 1,5—2 мм. Для придания жесткости к краям рамки прикреплены железные полоски. Вдоль вертикальных ребер нанесены деления в миллиметрах.

Глава 11

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

§ 50. Назначение гидрогеологических и инженерно-геологических исследований

Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, проводимое в процессе геологоразведочных работ, имеет целью получение исходных данных для проектирования, строительства и эксплуатации шахт и карьеров. Требования Государственной комиссии по запасам к гидрогеологической изученности месторождений полезных ископаемых в общем виде сформулированы в официальных инструкциях по применению классификации запасов твердых полезных ископаемых и более подробно изложены некоторыми министерствами и институтами. Так, ВНИМИ были разработаны и опубликованы в 1970 г. «Требования к гидрогеологическим исследованиям на месторождениях, осваиваемых открытым способом».

В результате комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований должны быть изучены все водоносные горизонты, расположенные выше и ниже полезного ископаемого, выяснены степень обводненности месторождения, величина ожидаемого притока воды в шахту или карьер и ее химический состав, устойчивость пород в подземных горных выработках и бортах карьера (особенно под влиянием фильтрующейся воды), источники питьевого и технического водо-

снабжения горного предприятия и инженерно-геологические условия строительства на поверхности [15, 24].

Объем и степень детальности исследований определяются стадией проектирования и сложностью гидрогеологических и инженерно-геологических условий. При относительно простых условиях их изучение при детальной разведке может ограничиваться площадью залегания полезного ископаемого, а при сложных — должно охватывать также зону влияния строительного водопонижения.

Следует увязывать проводимые исследования с предварительно намечаемой схемой отработки и осушения месторождения, чтобы избежать дополнительных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в период разработки полезного ископаемого.

В крупных горнопромышленных районах гидрогеологические наблюдения за результатами водопонижения целесообразно продолжать в процессе эксплуатации шахт или карьеров с тем, чтобы использовать их в качестве аналогов при проектировании новых горных предприятий в аналогичных условиях.

§ 51. Состав и характер исследований на различных стадиях разведки месторождений

Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий района или участка месторождения полезных ископаемых проводится, как правило, в три стадии — поисковую, предварительной и детальной разведки. Осуществляется переход от изучения бóльшей территории с меньшей детальностью к изучению отдельных участков с большей детальностью.

Каждой стадии разведки соответствуют свои объем и характер работ.

На стадии поисков представление о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях месторождения можно получить главным образом путем изучения имеющихся в фондах отчетов и опубликованных работ по геологии, гидрогеологии, гидрографии, климату, условиям залегания, распространения и водообильности водоносных горизонтов, физико-механическим и водным свойствам водовмещающих и водоупорных пород. Проводится маршрутная или площадная съемка и комплекс гидрогеологических наблюдений при бурении разведочных скважин, изучается обводненность расположенных вблизи карьеров и шахт.

В процессе предварительной разведки устанавливается степень обводненности отдельных участков месторождения (полей карьеров и шахт), количество водоносных горизонтов, глубина залегания, мощность, величина напора, химический состав воды и подробнее изучается основной горизонт, обводняющий полезное ископаемое. Изучаются литологический состав, физико-

механические, водные свойства, водопроницаемость пород кровли, почвы и самого полезного ископаемого. Устанавливается связь основного водоносного горизонта с соседними горизонтами и водами поверхностных водотоков и водоемов. Создается или расширяется сеть скважин и водомерных постов на реках и водоемах, ведутся наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод. Оцениваются возможные притоки в карьеры и шахты, изменения физико-механических свойств пород при увлажнении, обосновывается необходимость и схема их осушения для обеспечения устойчивости откосов карьера и других горных выработок. Все эти данные должны быть получены путем бурения разведочных скважин и опытных откачек из них, комплекса лабораторных определений проб пород, отобранных из скважин, и материалов по эксплуатации карьеров и шахт, находящихся примерно в аналогичных условиях с разведываемым участком.

На стадии детальной разведки путем бурения гидрогеологических скважин и откачек уточняются условия обводнения отдельных полей или участков поля карьера и шахты. Должны быть получены исходные данные для расчета ожидаемых водопритоков и проектирования осушительных мероприятий, для расчета отвода максимальных притоков воды в карьер за счет ливневых осадков. Оцениваются возможные источники водоснабжения. Особое внимание уделяется определению путем опытных кустовых откачек активности гидравлической связи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водотоками и водоемами, а также детальному изучению физико-механических и водных свойств пород, необходимых для расчетов прочности и устойчивости проектируемых сооружений на поверхности, уточнения расчетов устойчивости бортов карьеров и откосов отвалов. Глубина разведочных скважин должна позволить изучить водоносные слои лежачего бока, непосредственно подстилающие полезное ископаемое или отделенные от него водоупором, мощность которого невелика и не может предотвратить прорыв воды в карьер или исключить влияние данного водоносного горизонта на устойчивость бортов карьера. Данные детальной разведки должны обеспечить проектирование экономичных дренажных систем в сочетании с ведением горных работ.

Нередко следует в сложных гидрогеологических условиях меньше проводить опытных кустовых откачек при детальной разведке, а для определения коэффициента фильтрации, дебита скважин и радиуса их влияния проводить опытно-производственное водопонижение и вести наблюдения при строительстве и эксплуатации карьера.

Для составления проекта разрезной и въездной траншей и стволов шахт проводится контрольное бурение по оси траншей и контрольно-стволовое бурение для уточнения химического

состава подземных вод, глубины залегания и мощности водоносных горизонтов с определением откачками гидрогеологических параметров, необходимых для последующих расчетов ожидаемых водопритоков в траншеи или ствол шахты из пересекаемых водоносных горизонтов и разработки мероприятий по борьбе с этими притоками.

§ 52. Виды и содержание гидрогеологических и инженерно-геологических работ

К основным видам гидрогеологических и инженерно-геологических работ относятся: комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка, гидрогеологические наблюдения и отбор проб пород для лабораторных исследований при разведочном бурении, бурение гидрогеологических скважин с отбором проб воды, стационарные наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод, опытно-фильтрационные исследования, опыты на сжатие пород, изучение химического состава подземных вод, физико-механических и водных свойств горных пород.

Все указанные виды работ выполняются при предварительной и детальной разведке на месторождениях разной степени сложности, но объем и содержание их увеличиваются с детальностью разведки и сложностью условий.

Ниже приводится содержание исследований при детальной разведке на месторождениях, находящихся в сложных и очень сложных гидрогеологических условиях и приуроченных к песчано-глинистому комплексу пород. На месторождениях, приуроченных к скальному комплексу пород, объем работ меньше.

Комплексная съемка осуществляется в масштабах 1 : 500—1 : 10 000 и заключается в проведении сети маршрутов, при которых на топографическую (а лучше на геологическую) карту наносятся источники, колодцы, буровые скважины, болота, водоемы и водотоки, дается их описание с определением дебита и качества воды. Характеризуются литологический состав, трещиноватость пород, геоморфологические особенности изучаемой площади, физико-геологические процессы и явления.

По результатам съемки составляются карты и разрезы, характеризующие гидрогеологические и инженерно-геологические условия заснятой территории, разделяемой на картах на районы и подрайоны.

При бурении разведочных скважин ведутся гидрогеологические наблюдения за уровнем воды в скважинах и поглощением промывочной жидкости, позволяющие определять поглощающую способность горных пород.

Бурение гидрогеологических скважин ведется с изоляцией водоносных горизонтов путем тампонажа. Наблюдения за уров-

нем воды в этих скважинах и отбор проб воды используются для установления мощности водоносного слоя, величины гидростатического напора, химического состава воды и построения гидрогеологических карт. Водоносные горизонты, встреченные скважиной, опробуются пробными откачками, по результатам которых вычисляются коэффициенты фильтрации водосодержащих пород.

Закладывают одиночные гидрогеологические скважины в количестве не менее одной на каждые 1—2 км² разведываемой площади.

С т а ц и о н а р н ы е   н а б л ю д е н и я   з а   р е ж и м о м   п о д з е м н ы х   и   п о в е р х н о с т н ы х   в о д проводятся для установления связи подземных вод с поверхностными водами рек и водоемов, зависимости положения **уровня подземных** вод от метеорологических факторов (главным образом осадков) и **взаимосвязи** между водоносными горизонтами. Наблюдения за уровнем и химическим составом воды должны вестись в течение нескольких лет, во всяком случае не менее года. Организуются они при детальной, нередко предварительной разведке и часто продолжаются в период эксплуатации месторождения.

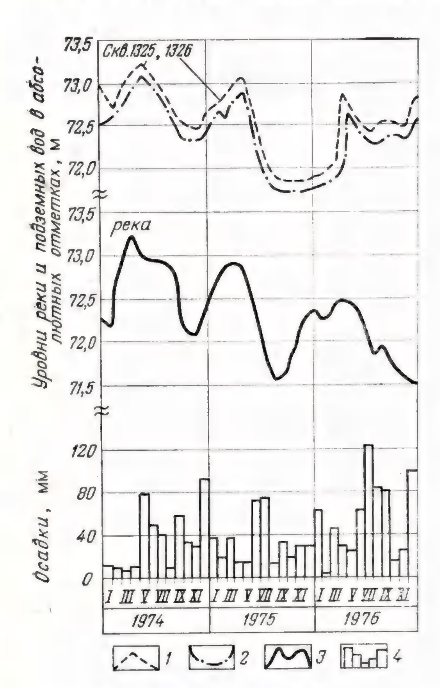


Рис. 56. График колебаний уровней водоносных горизонтов, реки и атмосферных осадков:

1 — уровень надугольного водоносного горизонта; *2* — уровень подугольного водоносного горизонта; *3* — уровень воды в реке; *4* — месячные атмосферные осадки

Замеры уровня воды в скважинах ведутся от занивеллированного верха патрубка, а в реках и водоемах на гидрометрических постах от нуля водомерных реек 1—2 раза в декаду. По сезонам года изучается изменение химического состава подземных вод. Скважины стационарной сети наблюдений оборудуются фильтрами с прочно закрывающимися крышками во избежание засорения.

По данным режимных наблюдений строятся графики, по которым можно установить влияние выпадающих атмосферных осадков на уровни водоносных горизонтов, гидравлическую связь их между собой и с поверхностными водами.

На рис. 56 приведен график колебаний уровней воды над-

угольного, подугольного и водоносных горизонтов и количества выпадающих осадков, отражающий значительное влияние осадков на повышение надугольных грунтовых вод и меньшее — на уровень подугольного водоносного горизонта.

Опытно-фильтрационные исследования. Для опробования водоносных горизонтов проводятся кратковременные откачки из одиночных скважин в процессе бурения (пробные откачки), а для более точного определения водопроницаемости пород — откачки длительного характера (опытные откачки) из одиночных скважин или куста скважин.

Опытные откачки проводятся в наиболее характерных местах, выбранных в результате предварительного изучения геологического строения района, условий залегания водоносного горизонта, направления потока и т. п. При разведке месторождений опытные откачки целесообразно осуществлять в местах с максимальной и средней обводненностью и на участках с невыдержанным геологическим строением.

Опытный куст состоит из центральной скважины, из которой ведется откачка воды, и из наблюдательных, расположенных по одному или двум лучам. Чем сложнее гидрогеологические условия и чем более детальную характеристику водопроницаемости пород надо получить, тем больше закладывается скважин по бóльшему числу лучей. Чаще куст состоит из центральной и двух-трех наблюдательных скважин, заложенных по одному лучу, желательно перпендикулярному движению подземных вод. Расстояния между центральной и наблюдательными скважинами берутся бóльшими в хорошо водопроницаемых породах и увеличиваются с удалением последних от центральной.

Перед откачкой скважины оборудуются фильтрами. В центральной скважине диаметром 150—250 мм устанавливается фильтр диаметром 100—150 мм, в наблюдательных скважинах диаметром 75—100 мм — фильтр диаметром 50—75 мм. Тип фильтра скважин опытных кустов выбирается с учетом литологического состава водосодержащих пород и продолжительности работы скважины. В галечниках и неустойчивых трещиноватых породах применяются фильтры в виде перфорированной металлической трубы с круглыми или щелевыми отверстиями диаметром или шириной 10—20 мм со скважностью 20—45%. *Скважность* — отношение площади отверстий к боковой поверхности фильтра в процентах.

При откачке из водоносных песков применяются сетчатые фильтры, в которых рабочая часть состоит из перфорированной трубы *1* с круглыми отверстиями диаметром 5—10 мм или щелевыми шириной 10—20 и длиной 100—200 мм, проволочной обмотки *2* и сетки *3* (рис. 57). Обмотка медной проволокой диаметром 2—3 мм производится для того, чтобы сетка не прилегала к трубе плотно и обеспечивала бы бóльшую пропускную способность фильтра. Сетка подбирается с расчетом, чтобы

40—60% песчаной породы проходило через ее отверстия. В мелкозернистых глинистых песках для увеличения захватной способности вокруг фильтра устраивается песчано-гравелистая обсыпка толщиной 40—60 мм. Диаметр зерен обсыпки берется больше среднего диаметра водоносного песка в 4—6 раз.

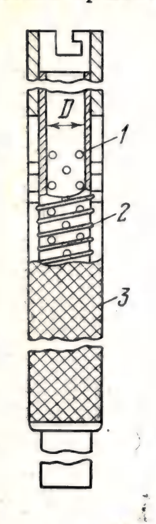


Рис. 57. Сетчатый фильтр

Рабочая часть фильтра должна быть не менее 3—5 м. Пробная откачка ведется при одной-двух ступенях понижения продолжительностью 1—2 смены каждая. Опытная откачка проводится при двух-трех ступенях понижения продолжительностью 1—3 сут (3—9 смен), из них около 8 ч должны наблюдаться постоянные дебит и понижения в центральной и наблюдательной скважинах. Откачка с бо́льшей продолжительностью проводится для оценки дебита скважины, пробуренной в целях водоснабжения (до 15—45 сут) при неясной водообильности опробуемого водоносного горизонта.

Величина понижения берется: минимальная 1 м и более (до $0{,}15\,H$): максимальная 3 м и более (до $0{,}45\,H$), где H — мощность безнапорного водоносного слоя или столб воды напорного водоносного слоя.

Для откачки в зависимости от глубины залегания уровня воды и дебита скважины применяются центробежные насосы, эрлифты, артезианские турбинные насосы (АТН) и погружные моторнасосы (ЭЦВ).

Во время откачки через каждые 30—60 мин замеряют дебит откачиваемой воды и уровня воды по всем скважинам. Вычисление коэффициента фильтрации по данным откачки осуществляется по формулам (53)—(60). Для получения надежных значений коэффициентов фильтрации основных водоносных горизонтов, обводняющих пласт полезного ископаемого, в пределах каждого разведываемого участка не меньше чем из трех гидрогеологических скважин проводят одиночные или кустовые опытные откачки.

При детальной разведке крупных месторождений опытными откачками определяют также коэффициент пьезопроводности в артезианских водах и коэффициент уровнепроводности в грунтовых водах, которые необходимы для расчетов расхода и радиуса влияния водоотлива или водопонижающих скважин при проектировании осушения карьера или шахты на разные периоды эксплуатации (через 1 год, 5, 10, 20 лет). Коэффициенты пьезопроводности и уровнепроводности характеризуют скорость передачи изменения давления в водоносном пласте под влиянием откачки воды [2, 20, 24].

Гидрохимическое изучение подземных вод

заключается в отборе проб воды из скважин на химический анализ с последующей оценкой ее качества как питьевой (ГОСТ 2874—73) или технической (по ведомственным нормам), а также для определения агрессивности воды по отношению к бетону и железу (СНиП II—28—73).

О содержании полевых исследований грунтов сказано в § 27.

В комплекс лабораторных исследований наряду с изучением гранулометрического состава и коэффициента фильтрации водосодержащих пород включается изучение физико-технических свойств пласта полезного ископаемого, пород кровли и почвы (угла естественного откоса песка, влажности, пластичности, трения и сцепления глинистых пород). Химический состав подземных и поверхностных вод изучается для оценки их агрессивности по отношению к бетонным сооружениям и металлическому оборудованию на шахтах и карьерах и для выяснения взаимосвязи отдельных водоносных горизонтов между собой и подземных вод с поверхностными.

Для участков открытых работ на основе изучения физико-механических свойств пород решается вопрос об устойчивости откосов, дренажа подземных вод и регулирования поверхностного стока. При проектировании разработки карьера методом гидромеханизации дается полная характеристика гранулометрического состава и пористости всех разновидностей пород кровли полезного ископаемого.

Отчет о детальной разведке состоит из текстовой части и графических материалов. В текстовой части освещаются гидрогеологические условия месторождения и инженерно-геологические условия строительства шахты или карьера, рассчитывается устойчивое положение бортов карьера, определяются ожидаемые притоки в горные выработки, дается схема и производится расчет осушительных систем. Приводится количественная и качественная характеристика подземных вод как источников водоснабжения, а также участков их водозабора.

Графические материалы, прилагаемые к отчету, состоят из геологических и гидрогеологических карт, гидрогеологических разрезов, колонок буровых скважин, графиков колебания уровня подземных вод, листов откачек, рисунков и фотографий. Основной гидрогеологической картой является карта водоносности, на которую наносят источники, колодцы, скважины, реки, озера и пруды, указывают площадь распространения водоносных горизонтов, возраст и состав пород, в которых залегают подземные воды. Составляются также карты гидроизогипс грунтовых вод, гидроизопьез напорных вод (основных горизонтов, обводняющих пласт полезного ископаемого), основных водоносных горизонтов в изолиниях мощности, напоров водоносных горизонтов и др. Для оценки обводненности горных выработок со стороны нижележащих подземных вод составляют карту

напоров основного водоносного горизонта над подошвой пласта полезного ископаемого, на которую наносят изолинии кровли водоносного горизонта и гидроизопьезы (рис. 58),

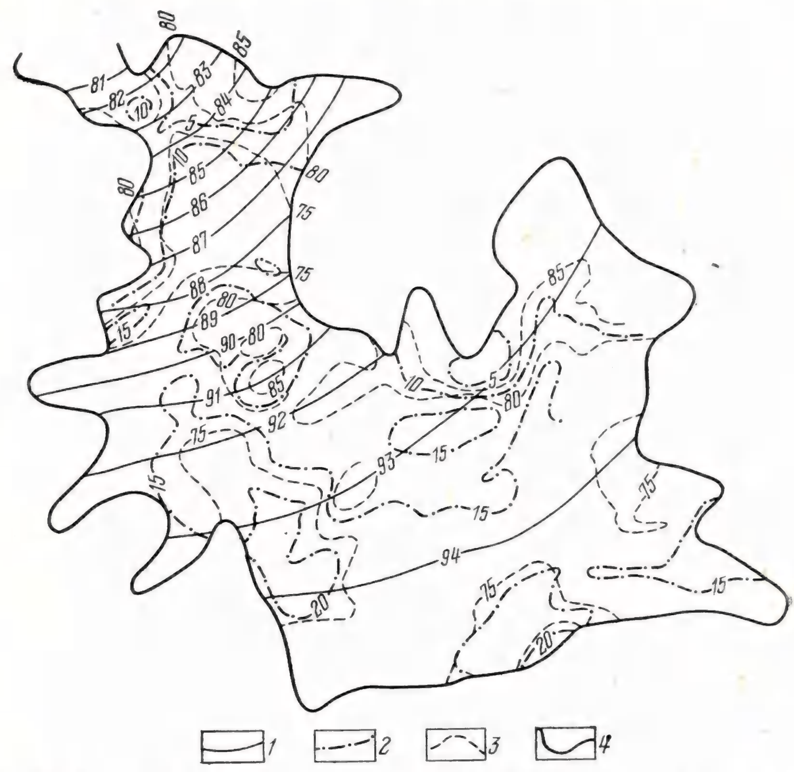


Рис. 58. Карта гидроизогипс, гипсометрии кровли и изонапоров подугольного водоносного горизонта:

1 — гидроизопьезы подугольного водоносного горизонта через 1 м; *2* — изолинии кровли водоносных песков через 5 м; *3* — изолинии напора подугольного водоносного горизонта через 5 м; *4* — метровый контур угольной залежи

Кроме указанных гидрогеологических карт, отражающих условия залегания подземных вод, желательно составить прогнозную карту, дающую оценку естественных запасов подземных вод района и участка рудного поля. Эта карта поможет установить степень обводненности месторождения, условия его вскрытия, эксплуатации и выявить источник водоснабжения будущего горного предприятия.

Характер залегания водоносных горизонтов изображается не только в плане, но и на гидрогеологических разрезах, построение которых осуществляется следующим образом (рис. 59). На топографический профиль, составленный по линии скважин, наносят все разведочные скважины с указанием около них прой-

денных пород, глубины появления воды и установившегося уровня. Затем плавными линиями соединяют одинаковые по возрасту и литологическому составу породы и отметки установившегося уровня воды каждого водоносного горизонта.

§ 53. Назначение и состав гидрогеологических и инженерно-геологических исследований в процессе строительства и эксплуатации карьеров

В период строительства горных предприятий и при эксплуатации месторождений в обязанность рудничного гидрогеолога входят наблюдения за подземными и поверхностными водами,

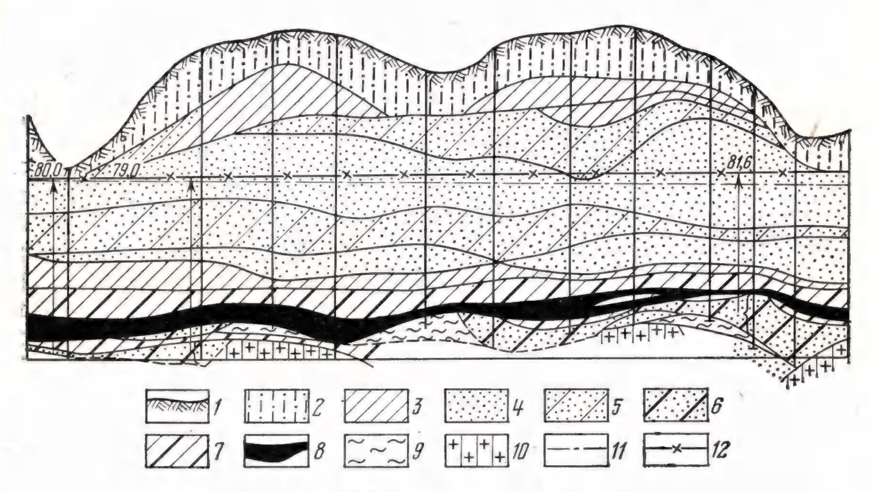


Рис. 59. Гидрогеологический разрез:

1 — растительный слой; 2 — суглинок; 3 — глина четвертичная; 4 — песок; 5 — песок глинистый; 6 — песок углистый; 7 — глина углистая; 8 — уголь бурый; 9 — каолин вторичный; 10 — каолин первичный; 11 — статический уровень надугольного водоносного горизонта; 12 — пьезометрический уровень подугольного водоносного горизонта

за работой дренажных систем и инженерно-геологическими явлениями на месторождении, обеспечивающие получение необходимых сведений для безопасного ведения горных работ, а также сбор и обобщение материалов, получаемых при вскрытии и разработке месторождения, для уточнения прогноза водопритоков, оценки устойчивости бортов карьера, улучшения работы установки водопонижения, водоотлива и водоснабжения [9, 11, 19].

Выясняется влияние на снижение прочности песчано-глинистых пород, слагающих борта и откосы в карьере, гидростатического взвешивания пород, находящихся ниже уровня воды в карьере, и гидродинамического давления при высачи-

вании подземных вод на его откосах и намечаются необходимые защитные дренажные мероприятия [24].

По специально оборудованной стационарной сети скважин, реперов, водосливов проводятся наблюдения за понижением уровней и изменением химического состава подземных вод основных водоносных горизонтов на поле шахты или карьера, за устойчивостью бортов карьера, за расходом водоотливных и водопонижающих установок и за режимом поверхностных вод. В отдельных случаях в лаборатории изучаются физико-механические и водные свойства пласта полезного ископаемого, его кровли и почвы и проводятся опытные откачки из разведочных и эксплуатационных скважин.

На обводненных бортах карьера ежемесячно отмечается высота зоны высачивания и расход подземных вод по фронту высачивания, устанавливаются размеры оплывших отложений. Гидрогеологическая карта карьера ежеквартально пополняется данными о высачивании воды на откосах, о характере оплывания, расположении дренажной системы, ее производительности и другими сведениями.

Гидрогеологические и инженерно-геологические данные, получаемые при проходке стволов, первых водопонижающих скважин и первоочередных горных выработок или при проведении разрезной траншеи карьера, очень ценны и позволяют внести необходимые коррективы в проект.

Систематическая гидрогеологическая съемка горных выработок с фиксацией мест поступления воды в горные выработки и ее количества, а также гидрогеологическое обслуживание дренажных скважин и наблюдения за поведением горных пород в период эксплуатации обязательны и позволяют рудничным гидрогеологам составлять по ходу разработки месторождения краткосрочные гидрогеологические и инженерно-геологические прогнозы и проводить мероприятия по борьбе с подземными водами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абрамов С. К., Скиргелло О. Б.** Способы, системы и расчеты осушения шахтных и карьерных полей. М., Недра, 1968, 255 с.

2. **Абрамов С. К., Газизов М. С., Костенко В. И.** Защита карьеров от воды. М., Недра, 1970. 230 с.

3. **Биндеман Н. Н., Язвин Л. С.** Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., Недра, 1970. 215 с.

4. **Сооружение** высокодебитных водозаборных и дренажных скважин/ Гаврилко В. М., Бессонов Н. Д., Ткаченко В. П. и др. М., Колос, 1974. 175 с.

5. **Гидрогеологические** исследования в горном деле. Под ред. В. А. Мироненко. М., Недра, 1976. 352 с.

6. **Григорьев В. М.** Вакуумное водопонижение. М., Стройиздат, 1973. 223 с.

7. **Каменский Г. Н.** Поиски и разведка подземных вод. М., Госгеолиздат, 1947. 313 с.

8. **Климентов П. П., Овчинников А. М., Сыроватко М. В.** Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Ч. I и II. М., Недра, 1966. 579 с.

9. **Кравцов А. И., Трофимов А. А.** Шахтная геология. М., Высшая школа, 1977. 278 с.

10. **Мазуров Л. П.** Физико-механические свойства мерзлых грунтов. Л., Стройиздат, 1975. 216 с.

11. **Методические** указания по гидрогеологическому обслуживанию угледобывающих предприятий. Л., Изд. ВНИМИ, 1975. 52 с.

12. **Мироненко В. А., Шестаков В. М.** Основы гидрогеомеханики. М., Недра, 1974. 295 с.

13. **Основы** гидрогеологических расчетов/ Ф. М. Бочевар, И. В. Гармонов, А. В. Лебедев, В. М. Шестаков. М., Недра, 1969, 367 с.

14. **Приклонский В. А.** Грунтоведение. Ч. 1. Госгеолтехиздат, 1955. 430 с., ч. 2. Госгеолиздат, 1952, 371 с.

15. **Руководство** по дренированию карьерных полей. Разделы III и IV, V и VI. Л., Изд. ВНИМИ, 1968. 385 с.

16. **Саваренский Ф. П.** Инженерная геология. Изд. 2, ГОНТИ, 1939. 486 с.

17. **Скабалланович И. А.** Гидрогеологические расчеты по динамике подземных вод. М., Госгортехиздат, 1960. 407 с.

18. **Скабалланович И. А.** Методика опытных откачек. М., Госгеотехиздат, 1960. 112 с.

19. **Скворцов Г. Г., Романовская Л. И.** Инженерно-геологические исследования и прогнозы при разведке месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1966. 160 с.

20. **Справочное** руководство гидрогеолога. Ч. I и II. Л., 1967. 952 с.

21. **Траншейные** стенки в грунтах/ Н. Н. Круглицкий, С. И. Мильковский, В. Ф. Скворцов и др. Киев, Наукова думка, 1973. 304 с.

22. **Троянский С. В., Белицкий А. С., Чекин А. И.** Общая и горнорудничная гидрогеология. М., Госгортехиздат, 1960. 391 с.

23. **Фисенко Г. П.** Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., Недра, 1965. 378 с.

24. **Фисенко Г. П., Мироненко В. А.** Дренаж карьерных полей. М., Недра, 1972. 185 с.

25. **Хохловкин Д. М.** Глубинные насосы для водопонижения и водоснабжения. М., Недра, 1971. 264 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ II
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

РАЗДЕЛ III
ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Иван Антонович Скабалланович
Матвей Васильевич Седенко

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ОСУШЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства Л. Н. Федорова
Обложка художника Г. А. Петрова
Художественный редактор Е. Л. Юрковская
Технический редактор Н. В. Жидкова
Корректор С. В. Зимина

ИБ № 2191

Сдано в набор 04.09.79 Подписано в печать 19.05.80
Т-08070 Формат 60×90$^{1}/_{16}$ Бумага тип. № 1
Гарнитура «Литературная» Печать высокая Усл. печ. л. 13,0
Уч.-изд. л. 13,39 Тираж 8250 экз. Заказ 690/7124-2 Цена 40 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.
Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

Уважаемый товарищ!

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА» ГОТОВИТ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ

КУДРЯШОВ П. И., КУЗЬМИН В. И. **Геометризация и учет запасов месторождений твердых полезных ископаемых.** — М.:—20 л., ил.—В пер.: 1 р. 40 к.

Изложены теория и практические методы геометризации, подсчета и учета запасов месторождений твердых полезных ископаемых, рационального использования и охраны недр.

Рассмотрены методы геолого-маркшейдерских измерений. Описаны теория и методика геометризации структурных и качественных особенностей месторождений, приведены практические примеры. Изложены основные теоретические положения и методика подсчета и учета запасов полезных ископаемых. Освещены вопросы рационального использования и охраны недр, контроля за полнотой извлечения, потерями и разубоживанием полезных ископаемых при добыче.

Для геологов и маркшейдеров. Может быть использована студентами геологоразведочной и маркшейдерской специальностей геологоразведочных и горных вузов и факультетов.

●

КУЛЬЧИЦКИЙ Л. И., УСЬЯРОВ О. Г. **Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород.** — 15 л., ил. — 80 к.

Приведены результаты экспериментального и теоретического исследования формирования прочностных свойств глинистых пород в процессе их развития — от состояния суспензий до упруго-пластического твердого тела. Впервые рассмотрены на микроуровне вопросы образования и реологические свойства коагуляционных глинистых структур. Развиты представления о природе сдвиговой прочности глин, их длительной прочности и ползучести. Предложен метод прогноза прочностных свойств пород под сооружениями при изменении гидрохимического режима.

Для инженеров-геологов, грунтоведов, почвоведов, гидрогеологов и специалистов, изучающих прочность и деформационное поведение глинистых пород.

ПАШКИН Е. М. **Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей.** — 10 л., ил.—55 к. 4000 экз.

Приведены результаты исследований, проведенных автором в последние 15 лет в районах Средней Азии, Крыма, Кавказа и Дальнего Востока. Рассмотрены сложные геосистемы пород с определяющими их свойства структурными связями и инженерно-геологические особенности массивов горных пород горноскладчатых областей; охарактеризована роль тектонической структуры в формировании инженерно-геологических условий — влияние трещинной тектоники, разрывных нарушений, складчатых деформаций, обводненность горных пород, регулирующие критерии устойчивости. Описаны формы нарушения устойчивости горных пород при сооружении туннелей, условия образования вывалов. Даны рекомендации по прогнозированию устойчивости и предупреждению вывалов.

Для геологов, работающих в области инженерно-геологических исследований при строительстве гидротехнических и транспортных туннелей.

●

ПОНОМАРЕВ В. В. **Рентгеноструктурные методы исследования в инженерной геологии.** — 15 л., ил. — 80 к.

Рассмотрены рентгеноструктурный анализ поликристаллов, аппаратура, используемая для исследования пород, а также применение математических методов и ЭВМ для обработки рентгеновских данных. Анализируется влияние микротекстуры на деформационное поведение пород, изменение микротекстуры под действием различных факторов. Показаны перспективы использования рентгеновских методов в инженерно-геологических исследованиях, для изучения динамики промерзания грунтов и т. д.

Для геологов, инженеров-геологов и других специалистов, изучающих природу прочности пород и механизмы формирования их свойств.

Издательство «Недра»

40 коп.

НЕДРА